

Juha Rautiainen

Biokaasureaktorin automatisointi

Laboratoriomittakaavan biokaasureaktorin
suunnittelu ja rakentaminen

Tekijä(t) Otsikko	Juha Rautiainen Biokaasureaktorin automatisointi
Sivumäärä Aika	54 sivua + 18 liitettä 5.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	automaatiotekniikka
Ohjaaja(t)	lehtori Markku Inkinen lehtori Jukka-Pekka Pirinen yliopettaja Pekka Lehtonen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella, rakentaa ja ottaa käyttöön panostoiminen laboratoriomittakaavan biokaasureaktori ja siihen liitettävä automaatiojärjestelmä. Laitteistolla on tarkoitus suorittaa Metropolia Ammattikorkeakoulussa biokaasun valmistukseen liittyviä tutkimus- ja kehityshankkeita.</p> <p>Lisäksi tehtävänä oli määrittää reaktorin koko ja tyyppi, joka parhaiten soveltuu laboratoriomittakaavan biokaasun valmistukseen. Automaatio mahdollistaa mädätysprosessin reaaliaikaisen seurannan ja mittausdatan tallentamisen. Mittausdataa voidaan hyödyntää mädätysprosessin optimoinnissa. Tässä insinööriyössä keskityttiin laitteistoympäristön suunnitteluun, rakentamiseen, asentamiseen, konfiguroimiseen ja dokumentoimiseen.</p> <p>Laitteiston suunnittelu aloitettiin biokaasureaktorin määrittelyllä. Työtä jatkettiin prosessisuunnittelulla, jota seurasi instrumenttisuunnittelu ja automaatiojärjestelmäsuunnittelu. Biokaasureaktorin suunnittelussa huomioitiin sekä käyttöön että instrumentointiin liittyvät vaatimukset. Instrumentti- ja automaatiosuunnittelua seurasivat laitehankinnat, minkä jälkeen aloitettiin laitteiston rakentaminen ja asennus.</p> <p>Laitteistorakentaminen aloitettiin prosessiasemasta ja etä-I/O-yksiköstä. Tämän jälkeen suoritettiin serveri- ja operaattoriaseman pystytys, joka piti sisällään käyttöjärjestelmien ja automaatio-ohjelmistojen asentamisen. Automaatiolaitteiston konfigurointi suoritettiin ohjelmistojen asentamisen jälkeen. Viimeiseksi tehtiin laitteistoasennukset ja kytkennät ja varmistettiin laitteistokokonaisuuden kommunikointi.</p> <p>Laitteistokokonaisuus voidaan jakaa neljään tasoon, jotka ovat serveri- ja operaattoritaso, prosessiasemataso, hajautettu I/O-taso ja kenttätaso. Mädätysprosessista tehtävät pH-, redox-, paine- ja lämpötilamittaukset suoritetaan kenttätasolla. Biokaasureaktorissa on myös automaatiojärjestelmällä ohjattava sekoitin. Serveri- ja operaattoriasema ovat yhteydessä prosessiasemaan Ethernet-verkon kautta. Prosessiasema on yhteydessä hajautettuun I/O:n Profibus DP -väylän kautta.</p> <p>Laitteisto valmistettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun kemiantekniikan ja automaatiotekniikan koulutusohjelmien insinööritöinä.</p>	
Avainsanat	automaatio, biokaasureaktori, instrumentointi, biokaasureaktorin automatisointi

Author Title	Juha Rautiainen Automating the biogas reactor
Number of Pages Date	54 pages + 18 appendices 5 th May 2011
Degree	bachelor of engineering
Degree Programme	automation engineering
Instructor Supervisor	lecturer Markku Inkinen lecturer Jukka-Pekka Pirinen principal lecturer Pekka Lehtonen
<p>The objective of this thesis was to design, build and bring into use an automated laboratory-scale biogas reactor. The purpose of the new equipment is to carry out biogas production related research and development projects in the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>In addition, the task was to determine the reactor size and type which suit best for laboratory-scale biogas production. Automation enables real-time monitoring of the digestion process and recording of measurement data. The measurement data can be used to optimize the digestion process. In this thesis the focus is on hardware environment planning, construction, installation, configuration and documentation.</p> <p>The hardware design was started by defining the biogas reactor. The work continued on to process planning and after that to instrument and automation system planning. Usability and instrumentation requirements were taken into consideration in planning the biogas reactor. After the instrument and automation planning, the equipment was ordered and then the construction and installation began.</p> <p>Hardware construction started from the process station and the remote I/O unit. After that, the server and the operator station were assembled, including operating systems and automation software installations. Automation hardware configuration was carried out after the software installation. Finally, the hardware installation, wiring and the communication for the whole system were completed.</p> <p>The whole system can be divided into four hardware levels, which are server and operator level, process unit level, distributed I/O level and field level. pH, redox, pressure, and temperature measurements of the digestion process are carried out on the field level. A blender was also connected to the biogas reactor and it is controlled by an automation system. The server and the operator station were connected to the process station by an Ethernet network. The process station was connected to the distributed I/O by a Profibus DP bus.</p> <p>The system was manufactured as a thesis project in the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences and in collaboration with the degree programs of Chemical Engineering and Automation Technology.</p>	
Keywords	automation, biogas reactor, instrumentation, automation of the biogas reactor

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn lähtökohdat	2
2.1	Työryhmä	2
2.2	Lähtötilanne	2
2.3	Toiveita ja kehitysehdotuksia.....	3
3	Tutustumista bioprosessitekniikkaan	4
3.1	Bioprosessit.....	4
3.2	Biokaasureaktorit.....	4
3.3	Bioreaktorin instrumentointi	6
3.3.1	Yleistä prosessimittauksista	6
3.3.2	Kemialliset mittaukset	7
3.3.3	Fysikaaliset mittaukset.....	7
4	Automaatiohankinnan teoriaa	9
4.1	Määrittely.....	10
4.2	Suunnittelu.....	10
4.3	Toteutus	10
4.4	Asennus.....	11
4.5	Toiminnallinen testaus.....	11
4.6	Kelpoistus.....	11
4.7	Tuotanto.....	11
5	Suunnittelutyö	12
5.1	Esisuunnittelu.....	12
5.2	Prosessisuunnittelu	12
5.2.1	Prosessikuvaus	12
5.2.2	Prosessista mitattavat suureet	13
5.2.3	Laitemäärittely.....	13
5.2.4	Prosessien mallintaminen	14
5.3	Instrumenttisuunnittelu.....	15
5.3.1	Anturit	15
5.3.2	Sekoitin.....	16
5.3.3	Instrumenttisuunnittelun tulokset.....	17

5.4	Automaation järjestelmäsuunnittelu.....	18
5.4.1	Automaatiolaitteisto	18
5.4.2	Serveri- ja operaattoriasema	19
5.5	Sähkösuunnittelu	20
5.6	Turvallisuus ja ATEX	20
5.7	Sovellussuunnittelu	20
5.7.1	Käyttöliittymä.....	20
5.7.2	Logiikkaohjelma	21
6	Kenttälaitteet	22
6.1	Sekoitin	22
6.2	pH- ja redox-mittaus	23
6.3	Lämpötilan mittaus	25
6.3.1	Biokaasureaktori	25
6.3.2	Reaktorin vesihaude	25
6.4	Paineen mittaus	26
6.5	Kaasumäärän mittaus	27
7	Biokaasureaktori	28
7.1	Reaktorin runko	28
7.2	Näytteenottoputki	29
7.3	Kansi ja anturiliitännät	29
8	Automaatiojärjestelmä	31
8.1	Järjestelmän kokoonpano	31
8.2	Prosessiasema.....	32
8.3	Etä-I/O-yksikkö ja kenttäkotelo	34
8.4	Serveriasema.....	36
8.5	Operaattoriasema	38
8.6	Järjestelmän konfigurointi	39
8.7	Järjestelmän kommunikointi.....	42
8.8	Käytetyt ohjelmistot.....	44
9	Kustannusarvio.....	45
10	Hankkeen yhteenveto	46
	Lähteet	47

Liitteet

- Liite 1. Dokumenttiluettelo
- Liite 2. Ohjelmistoluettelo
- Liite 3. Mittapisteluettelo
- Liite 4. Laiteluettelo
- Liite 5. Instrumenttiluettelo
- Liite 6. KytKentäluettelot
- Liite 7. KytKentäpiirustukset
- Liite 8. Automaatiojärjestelmän kokonaiskuva
- Liite 9. Automaatiojärjestelmän topologiakuva
- Liite 10. PI-kaavio
- Liite 11. pH- ja redox-antureiden tekniset tiedot
- Liite 12. Biokaasureaktorin seloste

1 Johdanto

Tämä insinöörityö sai alkunsa Metropolia Ammattikorkeakoulun kemiantekniikan koulutusohjelmassa käynnissä olevista biokaasun valmistukseen liittyvistä tutkimus- ja kehityshankkeista. Hankkeissa tutkittiin biokaasun tuotolle optimaalisia olosuhteita käytössä olevalla biokaasureaktorilla. Hankkeiden tuloksena saatiin selville käytetyn biokaasureaktorin heikkoudet ja puutteet. Tulokset toimivat pohjatietona tälle insinöörityölle, mikä perusteella uuden mädätysprosessiin tarkoitetun laitteiston suunnittelu aloitettiin.

Koska insinöörityö toteutettiin kemiantekniikan ja automaatiotekniikan koulutusohjelmien yhteistyönä, prosessilaitteiston suunnittelulle tavoitteeksi asetettiin sellaisen laitteiston valinta, joka tukee mahdollisimman hyvin sekä tutkimus- ja kehitystarpeita että instrumentoinnin ja automaation tarpeita. Jotta automatisointi olisi mielekästä, täytyisi biokaasureaktoriin pystyä liittämään sellaisia instrumentteja, joiden käytöstä olisi todellista hyötyä. Automaatiojärjestelmän suunnittelun tavoitteeksi asetettiin muun muassa mädätysprosessin ja siihen kytketyn laitteiston vaivaton operointi. Kokonaisuutta ajatellen tavoitteeksi asetettiin monipuolisen ja toimivan laitteiston rakentaminen ja käyttöönotto. Lopputuloksena olisi käytössä testattu ja toimiva laitteisto, joka on huolellisesti dokumentoitu opettajille sekä opiskelijoille.

Insinöörityö aloitettiin mädätysprosessiin ja biokaasuntuottoon liittyvään aineistoon tutustumalla. Suunnittelu aloitettiin insinöörityön määrittelyssä muodostuneen esisuunnittelun mukaisesti. Suunnittelussa käytiin lävitse biokaasureaktoriin, instrumentointiin, automaatiojärjestelmään ja asennukseen liittyvät osa-alueet. Suunnitteluun sisältyi myös hankintasuunnittelu, jota seurasi toteutusvaihe. Myös toteutusvaihe jakautui eri osa-alueisiin.

Insinöörityö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen toimiyksikössä, ja sen tekemisessä hyödynnettiin automaation hankintaan liittyvää elinkaarimallia, joka esitellään tarkemmin luvussa 4. Insinöörityöhön osallistuneet koulutusohjelmat hyödyntävät rakennettua laitteistoa tutkimus- ja koulutuskäytössään.

2 Työn lähtökohdat

2.1 Työryhmä

Hankkeessa oli mukana kemiantekniikan koulutusohjelmasta Maarit Luoranen, joka hoiti kemiantekniikkaan liittyvän määrittelyn yhdessä ohjaajansa yliopettaja Pekka Lehtosen kanssa. Automaatioteknisissä asioissa konsulttina toimivat lehtori Jukka-Pekka Pirinen sekä lehtori Markku Inkinen. Biokaasureaktorin sekä siihen liitettävälle instrumenteille yhteet valmisti Metropolia Ammattikorkeakoulun laboratoriomestari Leo Kunttu. Hän myös avusti automaatiojärjestelmän asennustehtävissä. Kaapeleiden vedossa avusti automaatiotekniikan laboratorioassistentti Juha Sikstus. Automaatiojärjestelmän ohjelmistoasennuksissa avusti ABB:n myyntipäällikkö Risto Haavisto.

2.2 Lähtötilanne

Mädätyskokeet suoritettiin huolellisesti suljetussa muovikanisterissa (kuva 1). Kanisterissa olevasta biomassasta imettiin vesisuihkupumpun ja imupullon avulla näytteitä mädätysprosessin aikana. Näytteistä mitattiin pH ja mittaustulosten perusteella pH pyrittiin säätämään metaania tuottaville bakteereille optimaaliseksi. Kirjallisuuden perusteella optimaalinen pH-alue oli 6,7...8,0 (Luoranen 2011: 28).



Kuva 1 Mädätysreaktorin rakenne: reaktori (1), kaasunkeräyspullo (2), syrjäytyneen veden keräysastia (3), näytteenottoputki (4) ja lämmitysvastus (5) (Luoranen 2011: 32).

Panostyyppisenä biokaasureaktorina toimi viiden litran polyeteenistä valmistettu muovikanisteri, joka oli osittain upotettuna vesihauteeseen. Vesihaudetta lämmitettiin termostaatilla varustelulla sähkövastuksella. Hauteen lämpötila pyrittiin pitämään 37 °C:na. Mädätysprosessin aikana syntyvä biokaasu johdettiin kumiletkulla vedellä täytettyyn kaasunkeräyspulloon. Muodostunut biokaasu syrjäytti vedellä täytetystä kaasunkeräyspullosta vettä. Syrjäytyneen veden määrä mitattiin päivittäin, jolloin saatiin selville biokaasun tuotto. Biokaasureaktorin tiiveyteen kiinnitettiin erityistä huomiota, koska kaikki prosessissa muodostunut biokaasu haluttiin kerätä talteen.

Biokaasureaktoria jouduttiin avaamaan muun muassa pH:n säädön takia, ja tämän seurauksena osa biokaasusta pääsi purkautumaan pois reaktorista. Tällöin biokaasureaktoriin mahdollisesti pääsi happea, joka oli haitaksi prosessin etenemiselle. Vanhassa reaktorissa ei ollut mekaanista sekoitusta, mikä vaikeutti syntyvien kaasukuplien vapautumista ja saattoi siten pienentää kaasuntuottoa. (Luoranen 2011: 2, 28.)

2.3 Toiveita ja kehitysehdotuksia

Biokaasureaktori haluttiin saada tutkimus- ja kehitystyön kannalta käyttäjäystävällisemmäksi, ja tämän johdosta laitteisto haluttiin automatisoida. Reaktorin tilavuus haluttiin pitää pienenä, jotta prosessin hallinta olisi mahdollisimman vaivatonta. Panosreaktori täytyy pystyä tyhjentämään ja puhdistamaan mahdollisimman helposti ja vaivattomasti. Lisäksi biokaasureaktoriin on saatava sekoitin, joka pitää reaktorissa olevan biomassan tasaisena.

3 Tutustumista bioprosessitekniikkaan

3.1 Bioprosessit

Luonnosta on löydettävissä monenlaisia bioprosesseja, joita ihminen on käyttänyt hyväkseen kautta aikojen, vaikka ei ole ymmärtänyt, miten kyseinen prosessi toimii. Luonnossa tapahtuvista bioprosesseista muun muassa käymistä ja maatumista käytetään kotitalouksissakin oluen ja viinin tuotannossa (Williams 2002: 1) sekä maatumista lehtikompostoreissa muuttaakseen lehdet mullaksi.

Biokaasuprosessit voidaan jaotella kiintoainepitoisuuden, lämpötilan ja reaktoriityypin mukaan. Märkäprosessi on yleisin, mutta myös muita prosessityyppejä käytetään. Märkäprosessissa kuiva-ainetta on noin 10...13 % ja loppu reaktorin sisällä olevasta materiaalista on nestettä tai lietettä. Kuivaprosessissa kuiva-ainetta on jopa 50 % reaktorissa olevasta materiaalista. (Biokaasu.)

Mädätysprosessit toimivat useissa lämpötiloissa ja prosessityyppi määräytyy lämpötila-alueen mukaan. Lämpötila-alue vaikuttaa myös siihen, kuinka nopeasti mikrobit toimivat eli kuinka nopeasti biokaasua syntyy. Prosessityypin muuttuessa lämpötilan mukaan myös prosessista jäljelle jäävän jätteen käsittely muuttuu. Korkeiden lämpötilojen prosesseissa syntyvät jätteet eivät tarvitse jälkikäsittelyä, koska patogeenit eli taudinaiheuttajat ovat tuhoutuneet. Matalissa lämpötiloissa syntynyt jäte on jälkikäsiteltävä taudinaiheuttajien eliminoimiseksi. (Luoranen 2011: 15-16.)

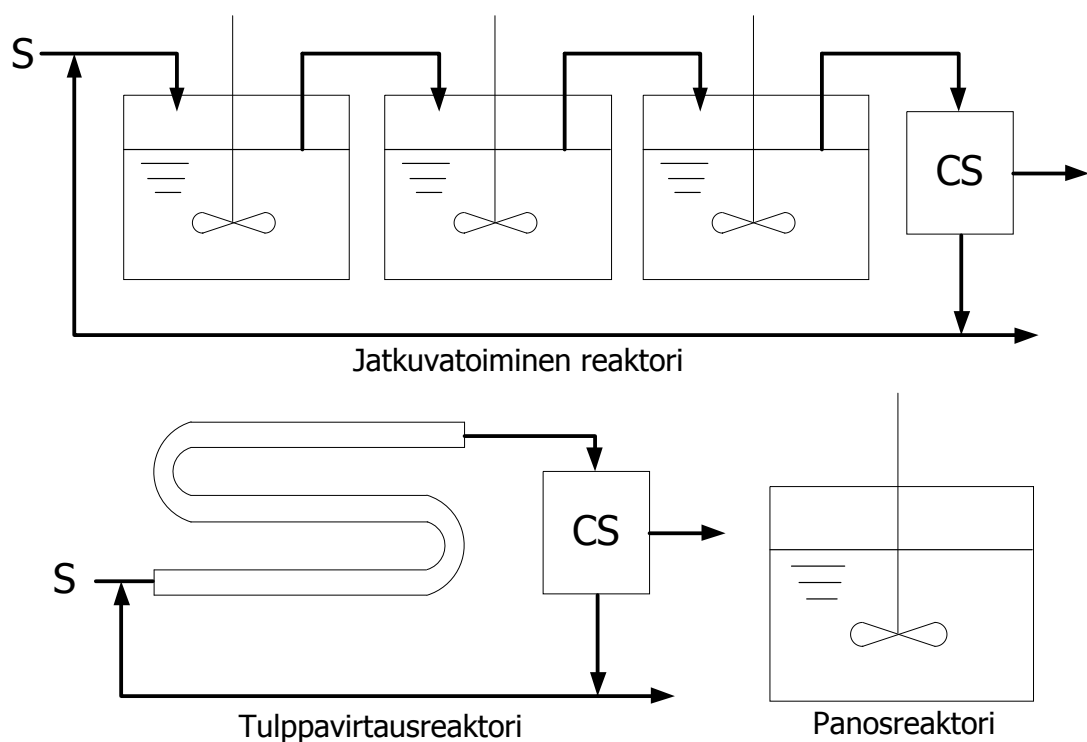
3.2 Biokaasureaktorit

Suurin osa bioprosesseista toteutetaan jonkin tyyppisessä reaktorissa. Periaatteiltaan bioreaktorin toiminta vastaa kemiallisen reaktorin toimintaa, mutta bioreaktorissa tapahtuva prosessi on usein herkempää ja monimutkaisempaa. Bioprosessin tehokkuuteen ja toimintaan vaikuttaa, minkälaista reaktoriyyppiä käytetään. (Williams 2002: 1.)

Biokaasureaktorit voidaan luokitella sekoitustavan perusteella, joista yleisimpiä ovat mekaaninen ja ilmastus. Mekaanisena sekoittimena toimii yleensä jonkin tyyppinen lapa tai pumppu, jolla massaa tai nestettä kierrätetään, ja näin saadaan aikaan sekoitus. Ilmasekoituksessa reaktorin pohjalla on suuttimet, joiden kautta ilmaa pumpataan

reaktoriin (Bioreaktorit 2007: 3). Suuttimista nousevat ilmakuplat saavat aikaan nesteen ja massan sekoittumista. Ilmanostoreaktoreissa on hyödynnetty korkeaa rakennetta, jotta sekoitus olisi mahdollisimman tehokasta. Mekaanisesti toteutettu sekoitus kuluttaa paljon energiaa, ja tästä syystä yli 200 m³ bioreaktoreissa käytetäänkin yleensä ilmasekoitusta. (Leván 2007: 11.)

Biokaasureaktorit voivat olla toiminnaltaan joko jatkuvatoimisia reaktoreita, panosreaktoreita tai näiden yhdistelmiä, kuten tulppavirtausreaktoreita, joissa biomassaa kulkee putkimaisen reaktorin lävitse (kuva 2).



Kuva 2. Erilaisia reaktortyypppejä (Leván 2007: 5-6).

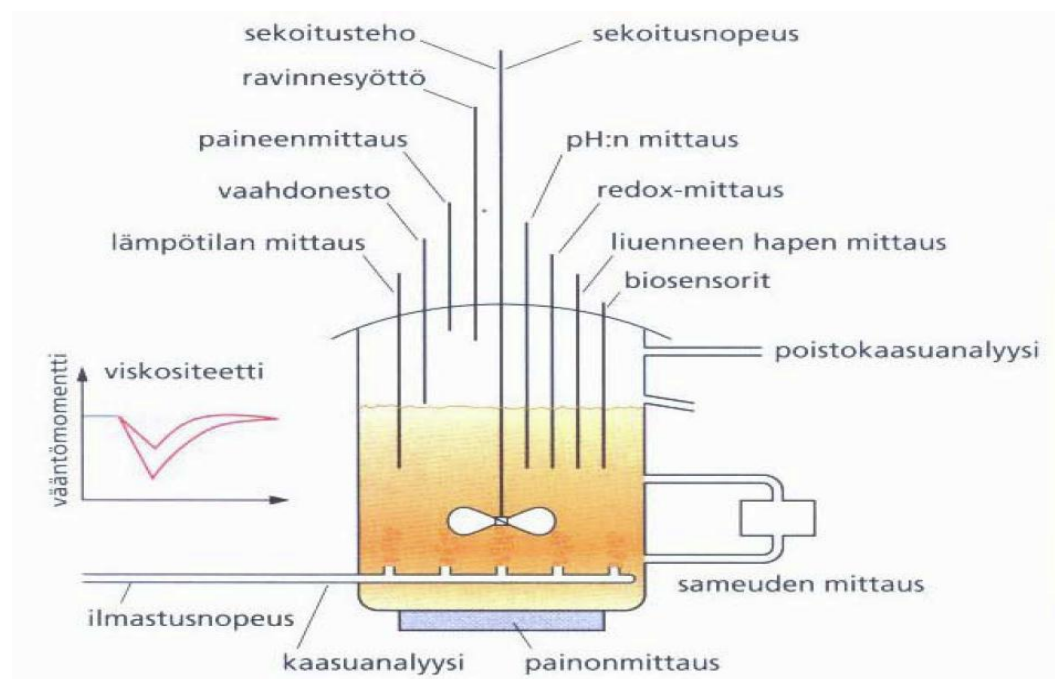
Tässä työssä käytettiin panosreaktoria, jossa käsitellään yksi panos eli erä biomassaa kerrallaan. Panosreaktorissa olosuhteet muuttuvat prosessin edetessä, ja prosessin valmistuttua reaktori tyhjennetään, minkä jälkeen se voidaan täyttää uudella panoksella.

3.3 Bioreaktorin instrumentointi

3.3.1 Yleistä prosessimittauksista

Mittausten tavoitteena on saada tietoa prosessisuureista ja niiden muutoksista niin, että prosessille voidaan suorittaa tärkeät toimenpiteet. Prosessin mittauksista saadun informaation perusteella prosessia opitaan ymmärtämään paremmin, sitä pystytään ohjaamaan ja säätämään, se pystytään validoimaan ja pitämään turvallisena. (Eerikäinen 2011: 11.)

Bioprosessien tilan seuraamiseen ja kontrollointiin tarvitaan monia erilaisia mittauksia. Jokainen lisämittaus tuo lisää informaatiota, jonka perusteella prosessin tilaa pystytään ohjaamaan, ja mittausten avulla myös prosessin käyttäytyminen pystytään mallintamaan tarkemmin. Biologista toimintaa, kuten bakteerien lisääntymistä, ei pystytä mitaamaan suoraan, mutta niiden vaikutus prosessiin on havaittavissa muiden suureiden välityksellä. Mitattavat suuret jaetaan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin mittauksiin. Kuvassa 3 esitetään yleisiä bioreaktioista mitattavia suureita, joista tässä loppu-työssä käytettäviä mittauksia käsitellään seuraavissa kappaleissa tarkemmin. Lähteenä käytettiin Rauno Levánin insinöörityötä ”Ympäristön suojelun bioprosessien mallintaminen laboratoriomittakaavassa”.



Kuva 3. Bioreaktorin instrumentointi (Eerikäinen 2011: 14).

3.3.2 Kemialliset mittaukset

Kemiallisia mittauksia ovat pH-mittaus, liuenneen hapen määrän mittaus eli DO-mittaus, redox-mittaus sekä erilaisten kaasujen mittaukset (Eerikäinen 2011: 21). Yleisimpiä mittauksia ovat happamuuden (pH) ja hapetus-pelkistyspotentiaalin määrittäminen (redox), joita käytettiin myös tässä insinööriyössä.

Happamuus on tunnetuin ja yksi tärkeimmistä bio- ja ympäristöprosesseihin vaikuttavista muuttujista. Happamuuden mittaus voidaan suorittaa jatkuvana mittauksena, jolloin reaktoriin on kytketty pH-anturi ja prosessin pH-arvot tallennetaan. Toinen vaihtoehto on tehdä pH-mittaukset näytteenottomittauksina, kun prosessista ei tarvita jatkuvaa mittaustietoa. Jatkovaa mittaustapaa käytettäessä on huomioitava reaktorissa vallitsevat prosessiolosuhteet ja mitattavan massan tai nesteen ominaisuudet anturia valittaessa. Antureiden ominaisuuksista riippuen myös antureiden kalibrointiväli vaihtelee parista päivästä useisiin viikkoihin, mikä on myös huomioitava elektrodien valinnassa. (Leván 2007: 9.)

Redox-mittausta eli hapetus-pelkistyspotentiaalimittausta käytetään usein anaerobisissa ja vähähappisissa oloissa. Prosesseissa, joissa päädytään käyttämään redox-mittausta, ei yleensä pystytä käyttämään liuenneen hapen mittausta tai sen antama kuva ei vastaa prosessin tilaa. Redox-mittauksella selvitetään reaktorissa olevan nesteen ja massan kokonaiskykyä luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja. Mittaustulosten tulkinta on kuitenkin hankalaa, joten mittausta käytetäänkin usein täydentämään muita tuloksia paremman kokonaiskuvan saavuttamiseksi. (Leván 2007: 9.)

3.3.3 Fysikaaliset mittaukset

Fysikaaliset mittaukset ovat yleisimpiä prosesseista tehtäviä mittauksia, ja useimmat niistä ovat yksinkertaisia toteuttaa. Yleisimpiä fysikaalisia mittasuureita ovat lämpötila, paine, pinnankorkeus, virtaus, viskositeetti ja massa. Fysikaalisia parametreja mitataan yleensä aina jatkuvatoimisesti, ja usein näiden perusteella suoritetaan prosessinohjaus eli säätö. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin tässä insinööriyössä käytettyjä mittasuureita. (Leván 2007: 10.)

Lämpötilamittareista yleisimpiä ovat vastuslämpömittarit, koska ne ovat tarkkoja ja parhaimmillaan lähes lineaarisia. Vastuslämpötila-anturin koon ja rakenteen takia myös niiden reagointinopeus vaihtelee. Usein prosesseissa käytetyt isot lämpötila-anturit reagoivat hitaasti lämpötilojen muutoksiin, mutta sillä ei ole suurta merkitystä biologisissa mädätysprosesseissa, joissa lämpötilat eivät suuresti vaihtele eikä anturin nopea reagointi ole prosessin kannalta tarpeellista. (Leván 2007: 10.)

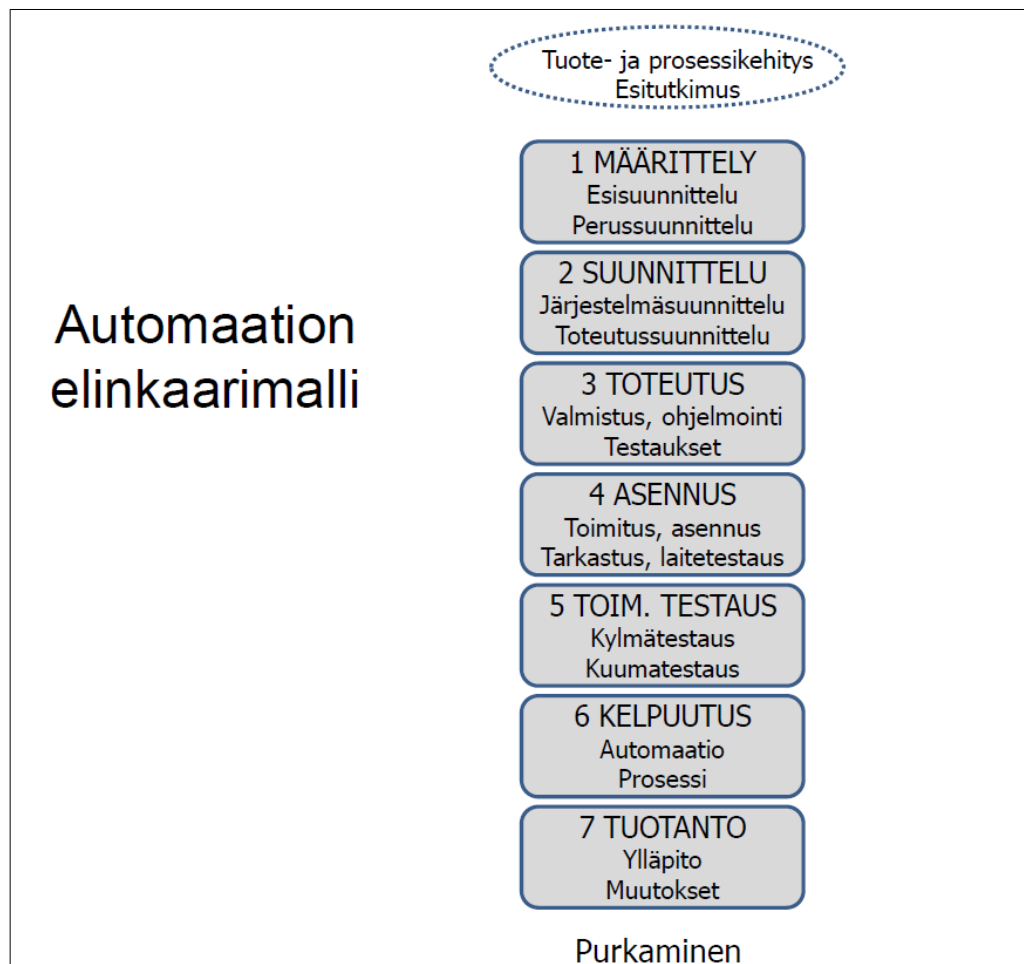
Paineen mittaus voidaan suorittaa monilla eri tekniikoilla, sekä sähköisesti että mekaanisesti. Paineen avulla pystytään selvittämään prosessin kannalta muita merkittäviä parametreja, esimerkiksi eri kaasujen osapaineita ja pitoisuuksia. Monissa biokaasureaktoreissa ylipaine on tärkeää, jotta aseptisuus pystytään varmistamaan. Tästä syystä paineen mittaus on oleellinen osa prosessimittauksia. (Leván 2007: 10.)

Lähteenä on käytetty Maarit Luorasan keväällä 2011 tekemää insinööriytötä Metropolia Ammattikorkeakoulun Kemiantekniikan koulutusohjelmassa sekä Rauno Levánin keväällä 2007 tekemää insinööriytötä Lahden Ammattikorkeakoulun Ympäristötekniikan koulutusohjelmassa. Luorasan insinööriytö käsittelee biokaasun valmistusta kasvibiomassasta laboratoriomittakaavan biokaasureaktorilla. Levánin työ käsittelee ympäristönsuojelun bioprosessien mallintamista laboratoriomittakaavassa eli samaa aihetta eri laitteistolla, ja työ toimi insinööriytön yhtenä suunnittelun lähtökohtana. Luorasan insinööriytön ja tämän insinööriytön tuloksena rakennettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Kemiantekniikan koulutusohjelman laboratorioon automatisoitu laboratoriomittakaavan biokaasureaktori. Luorasan teki lopputyössään biomassan mädätyskokeita ja mittauksia yksinkertaisella panostyyppisellä biokaasureaktorilla, ja tässä insinööriytössä keskityttiin täysin uuden panostyyppisen biokaasureaktorin rakentamiseen ja automatisointiin.

4 Automaatiohankinnan teoriaa

Automaation elinkaarta käsitellään Suomen Automaatioseuran julkaisemassa kirjassa ”Laatu automaatioissa - parhaat käytännöt”, jonka pohjalta tämän luvun sisältö on laadittu.

Laitteistokokonaisuutta hankittaessa automaatio suunnittelu tehdään muun suunnittelun ehdoilla. Automaatio suunnittelun lisäksi toimitusprojekteissa on mukana monia suunnittelualoja kuten prosessisuunnittelu, instrumenttisuunnittelu, sähkösuunnittelu ja turvallisuussuunnittelu. Automaatio suunnittelu saa lähtötietonsa muilta suunnittelualoilta, ja siksi se aloitetaan usein viimeisenä (Strömman 2010: 2,4). Kuvassa 4 on havainnollistettuna automaation elinkaari.



Kuva 4 Automaation elinkaarimalli (Rämet 2010: 3).

4.1 Määrittely

Ensimmäisen vaiheen tavoitteena on määritellä hankittava laitteisto niin tarkasti, että hankintasuunnittelu voidaan aloittaa.

Määrittelyvaiheen tavoite on kuvata hankittava automaatiojärjestelmä sekä sopia sen toteutuksessa käytettävät menettelyt niin tarkasti, että yksityiskohtainen suunnittelu ja toteutus toimittajan puolella voidaan aloittaa. (Rämet 2010: 4.)

Tarvemäärittelyssä huomioidaan laitteiston käyttäjien asettamat vaatimukset järjestelmälle. Kootussa käyttäjävaatimuksessa on tärkeää tehdä yhteistyötä myös suunnittelijoiden kanssa ja erityisesti huomioida koneenhoitajien ja operaattorien kommentit, sillä se toimii pohjana koko projektille. Määrittelyn tuloksena muodostuu toiminnallinen kuvaus, jonka avulla pyydetään laitetoimittajilta tarjoukset hankittavasta laitteistosta ja joka on käytössä koko projektin läpiviennin ajan. (Laatu automaatiossa 2001: 32-47.)

4.2 Suunnittelu

Määrittelyvaihetta seuraa suunnitteluvaihe. Suunnittelun voi toteuttaa asiakas, automaatioalan konsulttiyritys tai automaatiojärjestelmän toimittaja. Suunnittelussa tarkennetaan määrittelyvaiheen tuloksia niin, että voidaan tehdä laitteistokuvaus, joka määrittelee automaatiolaitteiston arkkitehtuurin. Suunnittelussa luodaan myös kuvaukset ohjelmistolle, verkolle, väylille ja testaukselle ja tehdään selvitys mahdollisesta henkilöstön kouluttamisesta. Suunnittelu tehdään laatumääritysten mukaisesti, ja apuna käytetään erilaisia standardeja, jotka määrittelevät toimintatavat ja menetöt. (Laatu automaatiossa 2001: 48-55.)

4.3 Toteutus

Toteutusvaihe suoritetaan yleensä toimittajan tiloissa, joissa toimittaja rakentaa hankimansa laitteistot ja ohjelmistot. Työn edistyessä laitteistolle tehdään testauksia moduuli kerrallaan, ja osakokonaisuuksien valmistuessa suoritetaan integrointitestaukset. Työn ohella myös päivitetään suunnitteluvaiheessa tuotettuja dokumentteja. Toteutusvaiheen lopputuloksena suoritetaan FAT-testit (Factory Acceptance Testing), joiden

apuna voidaan käyttää ohjelmisto- tai hardwarepohjaisia simulointeja. (Laatu automaatiassa 2001: 55-63.)

4.4 Asennus

Asennusvaiheessa automaatiojärjestelmä toimitetaan ja asennetaan asiakkaalle. Asennustyön jälkeen suoritetaan järjestelmän tarkastukset ja aloitetaan suunnitteluvaiheessa määritellyt testaukset. Laitetarkastusten ja testausten tehtävänä on osoittaa, että laitteisto on valmistettu asiakkaan standardien mukaisesti ja se toimii halutulla tavalla. (Laatu automaatiassa 2001: 63-71.)

4.5 Toiminnallinen testaus

Toiminnallisessa testauksessa järjestelmällä ajetaan niin sanotut kylmätestaukset ja kuumetestaukset. Kylmätestauksessa järjestelmää ajetaan turvallisessa, mutta mahdollisimman aidossa tilassa. Kuumetestaus suoritetaan onnistuneen kylmätestauksen jälkeen, ja siinä tarkistetaan prosessin ylös- ja alasajoon liittyvät toimenpiteet. Toiminnallisessa testauksessa tarkastellaan myös prosessiin valittujen instrumenttien toimintaa. (Laatu automaatiassa 2001: 71-78.)

4.6 Kelpoistus

Kelpoistusvaiheen suorittaa asiakas. Lopputuloksena asiakas joko kelpoistaa eli hyväksyy toimitetun laitteiston tai vaatii siihen korjauksia. Asiakkaan tekemä tekninen loppukelpoistus on todistuksena toimittajalle, että asiakas on hyväksynyt laitteiston automaation ja prosessin toiminnan. (Laatu automaatiassa 2001: 78-93.)

4.7 Tuotanto

Automaation elinkaaren pisin vaihe on tuotanto. Tuotantovaihe pitää sisällään laitteiston ylläpidon ja muutokset. Laitteistolle tehdään kunnossapidollisia toimenpiteitä kuten laitteiston kalibroinnit ja huollot. Automaatiolaitteiston elinkaaren päässä on tuotannon lopettaminen ja järjestelmän purkaminen. (Laatu automaatiassa 2001: 93-94.)

5 Suunnittelutyö

5.1 Esisuunnittelu

Tässä insinööriyössä noudatettiin automaation elinkaarimallin vaiheita soveltavasti. Insinööriyön aluksi halutuista tehtävistä saatiin asiakkaalta (insinööriyön ohjaajalta) toimintakuvaus (insinööriyön kuvaus), jossa määriteltiin vastuut sekä suunnittelun, hankintoihin, asennuksiin, käyttöönottoon ja dokumentointiin liittyvät osa-alueet. Tehty insinööriyönkuvaus eli esisuunnitelma toimi pohjana suunnittelutyön aloittamiselle.

5.2 Prosessisuunnittelu

Uuden laitteiston suunnittelua aloitettaessa on jo tiedossa, mitä laitteiston halutaan tekevän. Samoin myös tässä insinööriyössä oli visio siitä, mitä laitteistolta halutaan. Prosessisuunnittelussa tehdyt määritykset toimivat lähtötietoina instrumentointisuunnittelussa (Tarvainen 2008: 9) ja automaatiojärjestelmäsuunnittelussa. Prosessisuunnittelun yhtenä tuloksena laadittiin mädätysprosessin (tai biokaasureaktorilaitteiston) PI-kaavio, jossa esitetään prosessilaitteisto ja instrumentointi (liite 10).

5.2.1 Prosessikuvaus

Prosessikuvauksella selvitetään prosessin toiminta ja sen mahdolliset vaiheet. Esimerkiksi virvoitusjuomapullon käsittely voidaan jakaa seuraaviin prosessivaiheisiin: pullon pesu, huuhtelu, tyhjennys, täyttö, korkitus, etiketointi ja pakkaus. Kutakin vaihetta voidaan tarkastella erillisenä osaprocessina, vaikka kaikki yhdessä muodostavatkin kokonaisuuden.

Toiminnalliset ja biologiset prosessivaiheet

Biokaasuprosessin kulku voidaan jakaa kolmeen mekaaniseen vaiheeseen, jotka ovat biokaasureaktorin täyttö, mädätysprosessi sekä reaktorin tyhjennys ja puhdistus. Lisäksi itse reaktorin sisällä tapahtuva mädätysprosessi voidaan jakaa neljään vaiheeseen, jotka ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi. Hydrolyysivaiheessa haponmuodostajabakteerit saavat aikaan sen, että suurimolekyyliset yhdisteet hajoavat yksinkertaisiksi yhdisteiksi. Toinen vaihe jatkaa ensimmäisessä vaiheessa

muodostuneiden yhdisteiden hajottamista, ja tätä vaihetta kutsutaan happokäymiseksi. Kolmas vaihe on asetogeneesi, jossa syntyy etikkahappoa, ja neljännessä eli metanogeneesissä muodostuu metaania kolmannen vaiheen yhdisteistä. (Luoranen 2011: 11-12.)

Lyhyt prosessin kuvaus

Biokaasun tuotossa käytetään märkäprosessia, jossa reaktorin lämpötila pidetään noin 37 °C:na. Reaktori on toiminnaltaan panosreaktori, jossa bioreaktion käynnistämiseksi on reaktoriin jätetty vanhaa lietettä, jossa on runsaasti metaania tuottavia bakteereita. Prosessin edistyessä bakteerit kuluttavat kaiken hapen reaktorista. Hapen loppumisen jälkeen biokaasua alkaa kehittyä ja se otetaan talteen. Prosessin päätyttyä, noin 4 viikon kuluttua sen käynnistymisestä, reaktori tyhjennetään, puhdistetaan ja ladataan uutta käyttöä varten. (Lehtonen 2010.)

5.2.2 Prosessista mitattavat suureet

Prosessista mitattavat suureet on tärkeä määritellä hyvissä ajoin. Mittausinstrumenttien kartoittamiselle, valinnalle, hankinnoille ja toimituksille sekä asennustyölle on varattava riittävästi aikaa. Isoissa automaatiototeutuksissa kaikki asiat vaikuttavat kaikkeen. Niinpä prosessista mitattavien suureiden määrät ja tyypit on oltava ajoissa tiedossa, jotta jokainen osa-alue pystyy aloittamaan työskentelyn (Tarvainen 2008: 9-10; Strömman 2010: 2). Siksi tässäkin insinöörityössä tehtiin suunnitelma mädätysprosessista mitattavista suureista.

Esisuunnittelussa määriteltiin, että mädätysprosessista pyritään tekemään mahdollisimman monia mittauksia. Näiden avulla prosessin tila ja käyttäytyminen tulisivat paremmin tunnetuksi. Suunniteltuja mittauksia olivat redox, sähkönjohtavuus, pH, lämpötila, paine, pinnankorkeus, virtaus, hiilidioksidi, metaanin määrä ja hapen osapaine.

5.2.3 Laitemäärittely

Uuden reaktorin tilavuus päätettiin pitää noin 5 litrana, koska pienemmän reaktorin tekeminen olisi vaikeuttanut mittausantureiden sijoittamista. Suuremman biokaasureaktorin tekeminen olisi puolestaan vaikeuttanut sen käsiteltävyyttä. Laboratoriomitta-

kaavan biokaasureaktorilla kokeet voidaan suorittaa pienemmällä biomassamäärällä. Tämän johdosta mädätysprosessista muodostuu vähemmän jätettä. Lisäksi mädätysprosessissa syntyvän palavan biokaasun muodostuminen on vähäisempää.

Reaktorin tyhjentämisen ja puhdistuksen kannalta on oleellista, että kaikki instrumentit saadaan sijoitettua reaktorin kanteen.

Tähän insinööriyöhön ei tullut prosessia ajatellen muita ohjattavia laitteita kuin sekoitin. Sekoittimen tehtävänä on taata mahdollisimman hyvä sekoitus biokaasureaktorissa, jotta mädätysprosessi etenisi mahdollisimman hyvin. Sekoittimen pyörimisnopeuden tulisi olla hidas, ettei sen toiminta häiritse prosessia. Lisäksi sen tulisi olla tarpeeksi voimakas, että kiintoainettakin sisältävä biomassa saadaan sekoitettua.

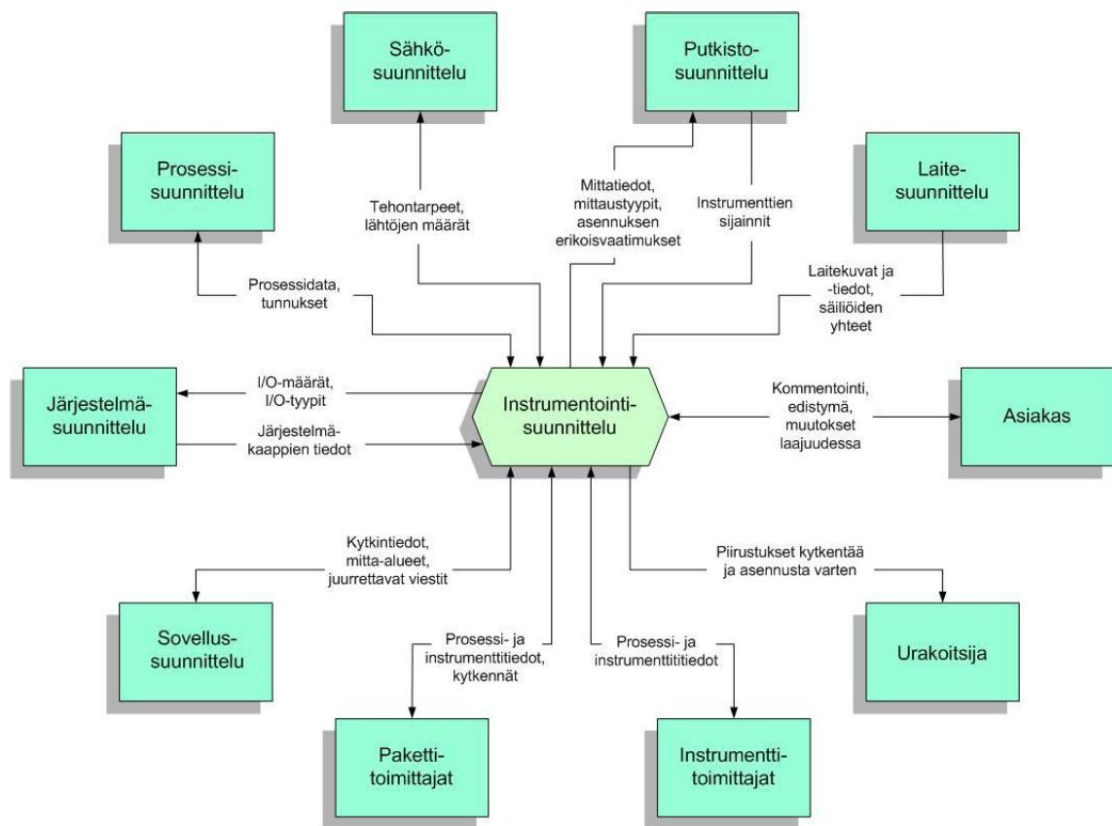
5.2.4 Prosessien mallintaminen

Perinteisissä prosesseissa, kuten lämmönvaihdinprosessissa, voidaan säädön suunnittelussa ja virittämisessä käyttää hyväksi matemaattisia prosessimalleja. Jotta prosessi pystyttäisiin mallintamaan, on sen käyttäytyminen tunnettava. Malli voidaan muodostaa fysiikan ja kemian peruslakien ja prosessilaitteiston tietojen tai prosessi-kokeiden avulla tai molempia menetelmiä käyttäen. Esimerkiksi säiliön pinnankorkeuden säätöä pystytään mallintamaan yksinkertaisten prosessikokeiden avulla. Prosessille tehdään askel-vastekoe, jonka tuloksista määritetään prosessin ensimmäisen kertaluvun kuolleen ajan malli. Näiden mallien avulla prosessia pystytään simuloimaan, ja sen säätämiseen pystytään hakemaan optimaaliset viritysparametrit taulukoista tai matemaattisen mallintamisen avulla. (Olli 2011: 14-16, 49.)

Koska tässä insinööriyössä käsiteltiin panostoisista biokaasureaktoria ja mädätysprosessia, jossa ei ole säätöpiirejä, ei mallintamiseen ollut tarvetta. Mädätysprosessin mallintamisesta olisi enemmän hyötyä kemiantekniikan opiskelijoille, jotka hakevat optimaalisia olosuhteita prosessin edistymiselle. Biokaasureaktoriin asennettujen mittausinstrumenttien ja automaatiojärjestelmän avulla on mädätysprosessista mahdollista kerätä mittausdataa, jonka avulla mädätysprosessin pystyy mallintamaan.

5.3 Instrumenttisuunnittelu

Instrumenttisuunnitteluun vaikuttavat monet tekijät, joista ensimmäisenä on prosessisuunnittelu. Prosessisuunnittelusta saatujen tietojen perusteella voidaan aloittaa instrumenttien hankintasuunnittelu. Suunnittelun edetessä instrumenttisuunnittelu huomioi myös muiden osapuolien kuten esimerkiksi sähkösuunnittelun, laitesuunnittelun, sovellusuunnittelun ja putkistosuunnittelun tarpeita. (Tarvainen 2008: 9.) Kuvassa 5 on esitetty instrumentointisuunnittelun tiedonsiirtotarpeita isoissa automaatiohankkeissa.



Kuva 5 Instrumentointisuunnitteluun vaikuttavat tekijät (Tarvainen 2008: 73).

5.3.1 Anturit

Instrumenttisuunnittelussa keskityttiin valitsemaan mädätysprosessiin ja biokaasureaktoriin parhaiten soveltuvat instrumentit. Tämän insinööriyön instrumenttisuunnittelu aloitettiin prosessisuunnittelusta saatujen määritysten pohjalta. Aluksi kartoitettiin automaatiotekniikan varastosta löytyvät instrumentit. Koska automaatiotekniikan varastosta löytyi vain osa antureista, joita prosessisuunnittelussa oli kaavailtu, aloitettiin tu-

tustumien eri laitevalmistajien ja laitetoimittajien tarjontaan internetin kautta. Instrumenttitoimittajiin käytiin myös tutustumassa automaatioalan Tekniikka-messuilla, jotka järjestettiin 5.-7.10.2010 Jyväskylän Paviljongissa.

Anturitoimittajien kanssa käytiin keskusteluja antureiden soveltuvuudesta kyseiseen tarkoitukseen, ja heidän kommenttinsa huomioitiin suunnittelussa. Huomioita kiinnitettiin mahdollisiin kalibrointitarpeisiin, joita erityisesti pH-anturille tulisi tehdä mädätysprosessin aikana. Tämä vaikutti siihen, että anturiin tuli saada sellainen asennusadapteri, joka mahdollisti anturin irrottamisen kesken mädätysprosessin. Adapterin tuli taata tiiveys myös anturin irrottamisen aikana, jottei mädätysprosessiin pääsisi happea.

Anturitoimittajien työn helpottamiseksi heille lähetettiin seloste, jossa selvitettiin biokaasureaktorin tietoja ja kerrottiin, mitkä mittaukset mädätysprosessista haluttiin tehdä. Biokaasureaktorista tehty seloste on nähtävänä liitteenä 12.

Instrumentointisuunnittelu ja erityisesti hankintasuunnittelu veivät ehdottomasti pisimmän osan tämän insinööriyön ajasta. Yllätyksenä tuli, kuinka hitaasti eri anturitoimittajat ja laitevalmistajat vastasivat kyselyihin. Suunnittelussa haluttiin tehdä perusteellista työtä, ja siksi ehdotuksia ja tarjouksia odotettiin useilta laitevalmistajilta.

Kun eri anturitoimittajilta oli saatu ehdotukset ja hintatarjoukset, muodostettiin saaduista tarjouksista kooste. Antureiden tiedot sekä tarjouskooste lähetettiin kemiantekniikan koulutusohjelmassa toimivalle työnohjaajalle, joka teki päätöksen anturitoimittajan valinnasta. Tarjouskoosteesta sai hyvän kuvan kemiallisten antureiden hintatasosta.

5.3.2 Sekoitin

Toisena instrumenttisuunnittelun kohteena oli biokaasureaktoriin sijoitettavan sekoittimen moottorin valitseminen ja hankinta. Mädätysprosessin olosuhteet ja vaatimukset tietäen sekoitukselle oli tehty määritykset prosessisuunnittelussa, jonka mukaan sopivan moottorin etsiminen aloitettiin. Koska sopivan kokoisia ja kohtuuhintaisia sekoittimia on vaikea löytää valmiina, päätettiin sekoittimen lapa ja akseli teettää moottoriin sopivaksi laboratoriomestarilla.

Aluksi biokaasureaktorin sekoittimen moottoriksi kaavailtiin askelmoottoria. Askelmoottorin ajateltiin takaavan riittävä voima sekoittimelle, jotta biomassaa pystyttäisiin sekoittamaan. Lisäksi askelmoottoria ei tarvitsisi ostaa, koska niitä löytyi automaatiotekniikan varastosta. Haittapuolina oli kuitenkin askelmoottorin kuumeneminen pitotilassa sekä askelmoottorin vaatima ohjauskortti, jota ei löytynyt varastosta. Askelmoottorin tarvitseman ohjauskortin hankintaa suunniteltaessa selvitettiin myös toinen vaihtoehto sekoittimen moottoriksi.

Toiseksi vaihtoehdoksi etsittiin DC-moottori eli tasavirtamoottori. Pienet DC-moottorit pyörivät ilman vaihteistoa hyvin suurilla kierrosnopeuksilla (DC-moottorit 2010), ja siitä syystä etsittiin vaihteistollista DC-moottoria. Sopivalla pyörimisnopeudella toimiva vaihteistollinen DC-moottori löytyi automaatiotekniikan varastosta. Etuina DC-moottorin ohjauksessa oli, että siihen soveltui perinteinen releohjaus. Lisäksi vaihteiston alentama pyörimisnopeus ja vääntö soveltuivat hyvin sekoittimen tarpeisiin.

5.3.3 Instrumenttisuunnittelun tulokset

Anturit

Anturitoimittajaksi valittiin yritys, jonka tekemä hintatarjous erottui muista huomattavasti. Lisäksi yrityksen tarjoama anturin asennusadapteri soveltui parhaiten haluttuun käyttöön.

Käytännön sekä ennen kaikkea kustannussyistä jouduttiin prosessisuunnittelussa määriteltyjen mittausten määrää vähentämään. Biokaasureaktoriin päädyttiin sijoittamaan vain pH-, redox-, lämpötila- ja painemittaukset. Lisäksi vesihauteeseen, jossa reaktori on, sijoitettiin lämpötilamittari. Redox- ja pH-mittauksiin liittyvät laitteet olivat ainoat, jotka piti hankkia koulun ulkopuolelta.

Sekoitin

Sekoittimen moottoriksi valittiin vaihteistollinen DC-moottori. Kyseisen moottorin valintaan johti se, että moottorin ohjaukseen ja toimintaan tarvittavat laitteet oli valmiiksi saatavilla, eikä laitehankintoja tarvinnut tehdä. Lisäksi etuina oli yksinkertaisen ohjauksen vaivaton toteutus.

Dokumentit

Instrumenttisuunnittelussa tuotetaan myös useita dokumentteja, joista osa talletetaan ja joita ylläpidetään koko projektin ajan (Tarvainen 2008: 13). Tästä projektista tehtiin seuraavat dokumentit ja piirustukset, jotka löytyvät liitteistä:

- Dokumenttiluettelo, jossa luetellaan tehdyt dokumentit (liite 1).
- Automaatiojärjestelmän kokonaiskuva, jossa hahmotellaan kokonaisuus (liite 8).
- Automaatiojärjestelmän topologiakuva, jossa esitetään järjestelmä yhteydet (liite 9).
- Hankintamäärittely, jona toimi biokaasureaktorin seloste (liite 12).
- Instrumenttiluettelo, jossa kuvataan laitteistossa käytettävät instrumentit (liite 5).
- Kytkenäluettelot, jossa on luettelo tehdyistä kytkennöistä (liite 6).
- Kytkenäpiirustukset, jossa on piirrettynä instrumenttien kytkennät (liite 7).
- Laiteluettelo, jossa listataan jokainen järjestelmässä käytetty laite (liite 4).
- Mittapisteluettelo, jossa määritellään mittapisteiden yksikkö ja mittausalue (liite 3).
- Ohjelmanuettelo, jossa kerrotaan käytetyt ohjelmat ja versionumerot (liite 2).

5.4 Automaation järjestelmäsuunnittelu

Automaation järjestelmäsuunnittelu aloitettiin esisuunnittelun perusteella. Suunnittelussa huomioitiin automaation järjestelmäsuunnittelun yhdeksi osa-alueeksi kuuluvan instrumenttisuunnittelun tulokset (Pirinen 2011). Järjestelmäsuunnittelussa keskityttiin siihen, minkälainen automaatiolaitteisto biokaasureaktoriin tuleviin instrumentteihin kytketään. Lisäksi suunniteltiin operointilaitteisto, joka palvelisi mädätysprosessin käyttäjiä parhaiten. Automaatiojärjestelmä suunniteltiin siten, että se voidaan jaotella eri tasoille. Ylimmälle tasolle haluttiin tietokoneet, seuraavalla tasolla prosessiasema, kolmannelle hajautettu I/O, ja neljäntenä tasona olisi kenttä, jossa mädätysprosessi ja sille tehtävät toimenpiteet suoritetaan. Samalla myös suunniteltiin asennuksiin liittyvät toimenpiteet, kuten laitteiston sijoituskohteet, asennustapa ja kaapeleiden vedot.

5.4.1 Automaatiolaitteisto

Oleellista prosessiasemaa valittaessa on tietää, kuinka paljon laitteistoon kytketään I/O:ta ja minkälaisia instrumentteja halutaan käyttää väylän kautta. Väylään kytkettävistä laitteista halutaan tietää, minkälaista protokollaa laitteessa ja yleisesti ottaen koko

järjestelmässä käytetään. Käyttöön voidaan haluta esimerkiksi Profibus DP tai PA, Foundation Fieldbus, Hart, ASI, tai TCP/IP -väylään kytkettäviä instrumentteja.

Esisuunnittelun sekä prosessi- ja instrumentointisuunnittelun tulosten perusteella tiedettiin, mitä instrumentteja mädätysprosessissa haluttiin käyttää. Näiden tietojen perusteella suunniteltiin laitteistokokonaisuus, jolla halutut mittaukset ja ohjaukset voitiin tehdä. Suunnitelmissa huomioitiin myös laitteiston laajennettavuus ja soveltuvuus muihin mahdollisiin projekteihin. Koska laitetoimittaja oli päätetty jo esisuunnittelussa, voitiin hankinnat aloittaa heti I/O-tarpeen selvittyä.

Laitetoimittajan päättämiseen esisuunnittelussa johti opettajien saama kokemus sekä suhteet, joita koululla oli laitetoimittajiin. Kouluprojekteissa ei yleensä ole suuria budjetteja, joten ne laitevalmistajat, jotka haluavat tukea kouluissa tehtävää opetustyötä tarjoamalla laitteitaan edullisin hinnoin, ovat ensimmäisiä vaihtoehtoja laitetoimittajia etsittäessä. Niin myös tässä projektissa prosessiaseman hankinnassa lopputulokseen vaikutti oleellisesti se, että ABB tarjosi edullisimman laitteiston. Vaikka hankittua prosessiasemaa voisi käyttää kokonaisen tehtaan automaatiojärjestelmänä, oli se mahdollisista laitteistoista koululle edullisin.

5.4.2 Serveri- ja operaattoriasema

Poikkeuksetta jokaista automaatiojärjestelmää ohjataan tietokoneelta. Operaattoriasemilla toimivat client-ohjelmat eli asiakasohjelmat hakevat prosessiin liittyvät tiedot serveriasemien muodostamasta kehysohjelmasta. Operaattori- ja engineeringasemia kutsutaan clienteleiksi, koska ne toimivat asiakkaiden tavoin käyttäessään serveriaseman tarjoamia palveluita. Serveriasema on pääyksikkö, jolla kaikki prosessiin liittyvät pääohjelmat ja palvelut ovat. (Hollender 2010: 48-49.)

Mädätysprosessia varten suunnitellun automaation lisäksi suunniteltiin käyttöön sopiva serveri- ja operaattoriasema. Koska automaatiolaitteiden toimittajaksi oli valittu ABB, tiedettiin serveri- ja operaattoriasemalle tarvittavat ohjelmistot. Järjestelmälliset vaatimukset tietokoneille olivat melko vaatimattomat. Serveriasemaksi tulevassa tietokoneessa tuli olla asennettuna Windows Server 2008 -käyttöjärjestelmä. Operaattoriasemaksi tulevassa tietokoneessa tuli olla asennettuna Windows 7 -käyttöjärjestelmä (Haavisto 2011). Lisäksi molemmissa asemissa tuli olla MS Officen perustyökalut.

5.5 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelussa keskityttiin prosessien sähköistykseen. Tehtävänä oli suunnitella, miten automaatiolaitteisto saa sähkönsä ja miten mädätysprosessissa tarvittava sekoi-tin sähköistetään. Suunnittelussa oli huomioitava asennuskohteen asettamat vaatimuk-set ja sähkötöihin liittyvät määräykset. Sähkölaitteet on rakennettava ja asennettava niin, että ihmiset on suojattu vaaralta niin normaalissa käyttötilanteessa kuin mahdoli- sessa vikatilanteessa. (SFS6000-4; Hukari 2009: 2.)

5.6 Turvallisuus ja ATEX

Turvallisuus on tärkeä asia prosessin käytössä, hallinnassa ja automaatiojärjestelmäs- sä, ja siihen on kiinnitettävä huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Suomessa toimiva Tu- kes eli Turvatekniikan keskus on tehnyt erityisesti prosessiteollisuuden käyttöön op- paan, jossa keskitytään turva-automaation toimintaan prosessin turvaamiseksi. Lisäksi Tukes on julkaissut ATEX-oppaan, jossa keskitytään räjähdysvaarallisten tilojen turvalli- suuteen. ATEX-lyhenne tulee ranskan kielestä "ATmosphere EXplosive", joka tarkoittaa suomeksi räjähdystiloja. Projektin aikana tutustuttiin molempiin oppaisiin, ja insinööri- työn toteutuksessa pyrittiin huomioimaan turvallisuuteen oleellisesti vaikuttavat asiat.

Suunnittelussa tulee tunnistaa ja huomioida mahdolliset vaarat. Vaarat tulee poistaa tai niiden vaikutusta pienentää. Niiden vaarojen varalle, joita ei voi poistaa, on tehtävä suoja-toimenpiteitä ja laitteiston käyttäjille on kerrottava jäljelle jäävistä vaaroista. (Turva-automaatio prosessiteollisuudessa 2007: 8.)

Suunnittelun alkuvaiheessa biokaasureaktori arvioitiin ATEX-luokiteltavaksi, joten siihen hankittavien instrumenttien tulisi olla ATEX-tiloihin tarkoitettuja. Suunnittelutyön ede- tessä tehtiin päätös, jonka mukaan biokaasureaktoria ei käsitellä räjähdysvaarallisena.

5.7 Sovellussuunnittelu

5.7.1 Käyttöliittymä

Automaatiojärjestelmiä operoidaan aina jonkinlaisen käyttöliittymän kautta. Käyttöliit- tymää voidaan kutsua toisella nimellä HMI:ksi, joka tulee sanoista Human Machine

Interface, suomeksi ihmisen ja koneen rajapinta. Käyttöliittymän kautta operaattori valvoo prosessin kulkua ja tekee tarvittavia toimenpiteitä. Käyttöliittymän tekemiseen suunniteltiin käyttää ABB:n omaa Graphics Builder -ohjelmaa.

Käyttöliittymään suunniteltiin sijoitettavaksi yksinkertainen biokaasureaktoria kuvaava säiliö, jonka ympärille mittaukset tulisivat. Mittausten lisäksi käyttöliittymään tulisi toimilaitteen ajokeskus. Keskuksesta pystyisi valitsemaan, miten sekoitinta halutaan ajaa. Valittavissa olisi manuaalinen ajotapa, jolloin operaattori voi itse ohjata sekoitinta päälle ja pois. Lisäksi olisi automaattinen ajotapa, jolloin sekoitin toimii sille määritetyn ohjelman mukaisesti. Valvomon käyttöliittymään tulisi myös varoitussivusto, trendi- ja historiasivusto sekä muita mahdollisia käyttäjien toivomia sivustoja. Lisäksi käyttöliittymä olisi pystyttävä tulostamaan mädätysprosessiin liittyviä raportteja vanhoista ja käynnissä olevista tapahtumista.

5.7.2 Logiikkaohjelma

Jokainen toimenpiteitä suorittava automaatiojärjestelmä tarvitsee toimiakseen logiikkaohjelman, joka määrittelee laitteiston halutut toiminnot. Automaatiojärjestelmän logiikkaohjelmaan määritellään kaikki käskyt ja ehdot toimenpiteiden suorittamisille. Automaatiojärjestelmä toteuttaa saamansa käskyt aina samalla tavoin lukuun ottamatta mahdollisia laitevaurioita tai vikatilanteita, jotka aiheuttavat virhetoimintoja järjestelmässä.

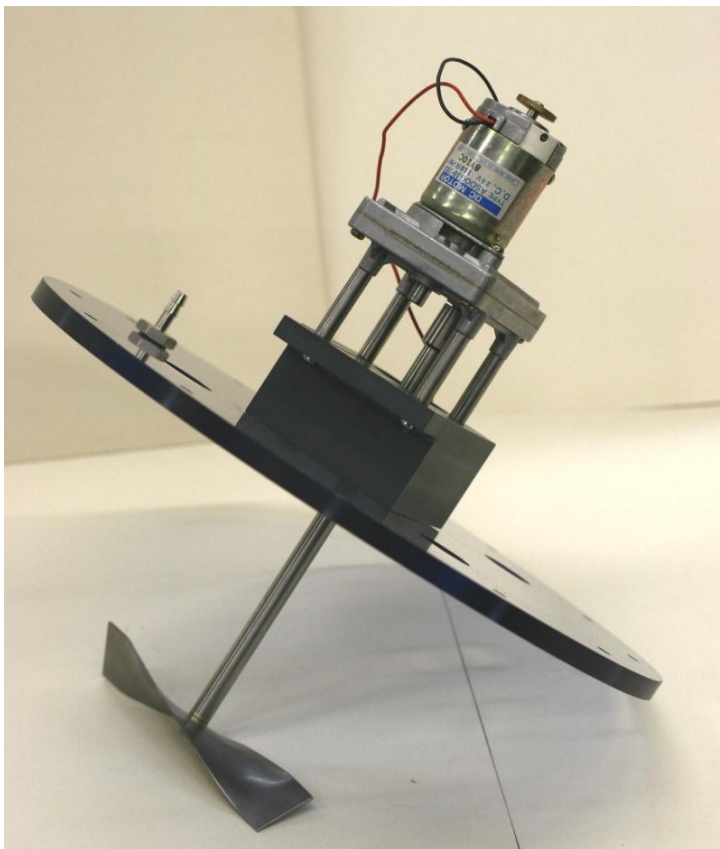
Biokaasureaktorin sekoitinta suunniteltiin ohjattavan etä-I/O-yksikön DO-moduulilla eli digital output -moduulilla. DO-moduulin lähdöstä menisi ohjaussignaali releelle, joka kytkee jännitteen kuormalle eli käynnistää sekoittimen. DO-moduulin ohjaus tulisi toteuttaa ohjelmallisesti siten, että operaattorin ohjatessa valvomo-ohjelmasta sekoituksen automaatile ohjelma ajaa sekoitinta ajastettuna 5 minuuttia käynnissä ja 30 minuuttia pois päältä.

6 Kenttälaitteet

6.1 Sekoitin

Biokaasureaktoriin haluttiin saada sekoitin, jotta mädätysprosessi etenisi mahdollisimman tasaisesti reaktorissa. Koska kyseessä on laboratoriomittakaavan reaktori, oli sopivan kokoista sekoitinta vaikea löytää, varsinkin kun tarkoituksena oli toteuttaa projekti pienellä budjetilla.

Aluksi sekoittimen moottoriksi kaavailtiin askelmoottoria, koska kyseisiä moottoreita löytyi muutama automaatiolaboration varastosta. Askelmoottori kuitenkin hylättiin, koska askelmoottorin ohjaimet ovat melko arvokkaita. Haluttu moottori löytyi automaatiolaboration varastosta ja tämän moottorin ohjaamiseen soveltui yksinkertainen releohjaus. Moottorissa oli valmiiksi asennettuna alennusvaihteisto, joka hidasti akselin pyörimisnopeuden 110 RPM eli kierrokseen minuutissa. Moottorin käyttöjännite oli sopivasti 24 voltia, joten sen jännitelähteenä käytettiin samaa jännitelähdettä kuin etä-I/O-yksikön muille komponenteille.

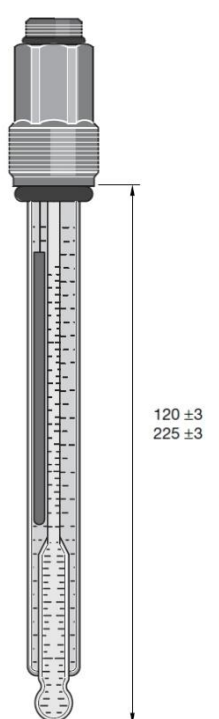


Kuva 6. Sekoitin asennettuna biokaasureaktorin kanteen.

Sekoittimeen tarvittiin myös akseli ja sekoitinlapa, jotka kiinnitettiin DC-moottorin vaihteistoon. Akseli ja lapa valmistettiin haponkestävästä teräksestä, jonka tyyppikoodi on Aisi 316. Akseli valmistettiin terästangosta, ja sen halkaisija on 10 mm. Lapa valmistettiin noin 1,5 mm paksuisesta levystä taivuttamalla. Lavan leveys on 140 mm ja syvyys noin 30 mm. Kuvassa 7 näkyy biokaasureaktorin sekoitin, joka on asennettu kiinteästi reaktorin kanteen. Sekoittimen asennussyvyys on 140 mm, jolloin sekoitus tapahtuu lähes pohjaa myöten.

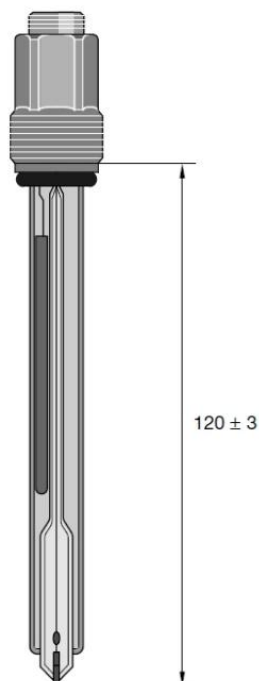
6.2 pH- ja redox-mittaus

Biokaasureaktorista suunniteltiin mitattavaksi mädätysprosessin happamuuden ja redox-potentiaalin muutoksia. Koska järjestelmä haluttiin automatisoida, tehtiin mittaukset jatkuvatoimisiksi. Tämä taas vaatii antureiden kiinteän asentamisen reaktoriin. Anturityyppien valinnassa oli tärkeää tutustua antureiden ominaisuuksiin, jotka määrittivät niiden käytettävyyden. Laitetoimittajiin tutustumisen ja tarjouspyyntöjen jälkeen sekä pH- että redox-anturit tilattiin Prominent Oy:ltä. Kuvassa 8 on mallinnus pH-anturista jonka tekniset tiedot on ilmoitettu liitteessä 11.



Kuva 7. pH-anturin mallinnus.

Antureiden lisäksi hankittiin myös anturivahvistimet, jotka mahdollistavat kyseisten antureiden kaikenlaisen käytön. Molemmissa anturivahvistimissa on LCD-näyttö, josta prosessoitavaa mittaussuuretta voi monitoroida ja anturin voi kalibroida. Erityisesti pH-anturille ajoittain tehtävä kalibrointi hoituu suoraan anturivahvistimelta. Kuvassa 9 on redox-anturin mallinnus ja tekniset tiedot on ilmoitettu liitteessä 11.



Kuva 8. Redox-anturin mallinnus.

Antureiden kiinnitystä varten hankittiin kiinnitysadapterit (kuva 10), joita muokkaamalla ne saatiin biokaasureaktoriin sopiviksi. Alkuperäisen kiinnitysadapterin asennussyvyys oli liian pieni. Työstön jälkeen antureiden asennussyvyys oli 7,5 cm, joka oli riittävä. Riittävän iso asennussyvyys oli tärkeää, jotta antureiden elektrodien kärjet menevät tarpeeksi syvälle nestepinnan alapuolelle, jotta mittaustulos olisi luotettava.

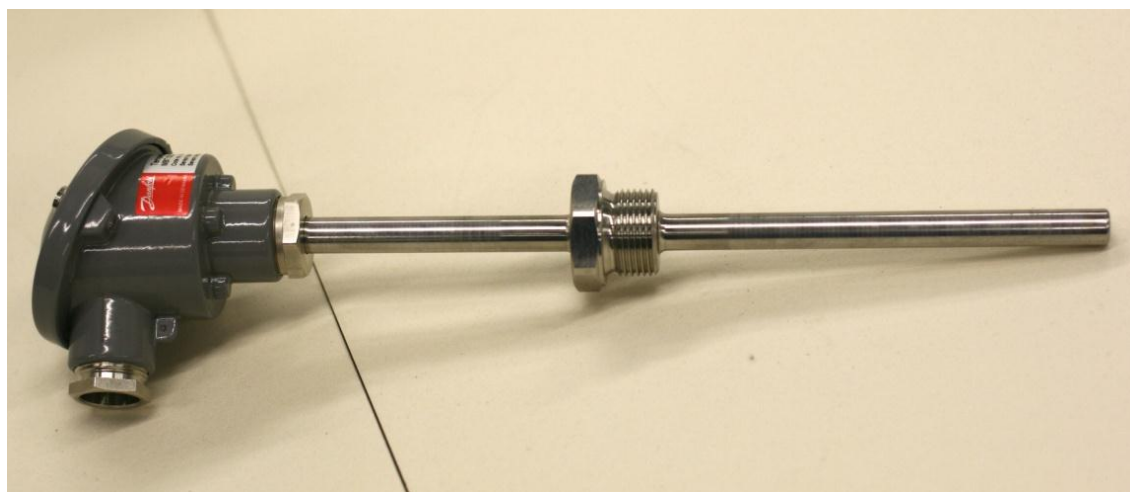


Kuva 9. Muokattu anturiadapteri, jossa on O-rengastiiviste.

6.3 Lämpötilan mittaus

6.3.1 Biokaasureaktori

Lämpötilan mittaamiseen tarvittavat anturit löytyivät automaatiotekniikan varastosta. Reaktorista suoritettavaan mittaukseen valittiin Danfossin Pt1000-anturi, joka oli valmiiksi koteloitu prosessiin asennettavaksi. Sen suojaus on tähän tarkoitukseen erinomainen. Kuvassa 11 on lämpötila-anturi, joka sijoitettiin biokaasureaktorin kanteen.



Kuva 10. Pt1000-lämpötila-anturi.

Pt1000-lämpötila-anturi on perinteinen vastusanturi, jonka tarkkuus ja käyttöalue ovat riittävän hyvät. Lämpötila-anturin toiminta-alue on $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$... $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suojaputken materiaali on haponkestävää terästä. Kotelon IP-luokka on IP 65. Pt1000-anturi sijoitettiin muiden antureiden tavoin reaktorin kanteen, johon tehtiin kiinnitystä varten kierteet. Anturikotelossa oli integroituna anturivahvistin, joka muuntaa anturilta mitaamansa vastusarvon 4...20 mA virtaviestiksi.

6.3.2 Reaktorin vesihaude

Biokaasureaktoria ympäröivän vesihauteen lämpötilaa haluttiin myös monitoroida, ja tähän tarkoitukseen sopiva anturi löytyi myös automaatiotekniikan varastosta. Hauteen lämpötilan mittaamiseen päätettiin käyttää sauvamallista Mikor Instrumentsin Pt100-anturia, joka on esitettyinä kuvassa 12.



Kuva 11. Sauvamallinen Pt100-lämpötila-anturi.

Pt100- ja Pt1000-anturit ovat lähes vastaavia ominaisuuksiltaan. Merkittävämpänä ero on, että lämpötilan ollessa 0 °C Pt100-anturin vastusarvo on 100 Ω ja Pt1000-anturin vastusarvo on 1 000 Ω . Pt100-anturin toiminta-alue on 0 °C...400 °C. Anturi sijoitettiin haudeastian toimineen laatikon kylkeen ja kiinnitys toteutettiin nippusiteellä. Anturi upotettiin osittain vedenpinnan alapuolelle.

Tämä anturi tarvitsi lisäksi erillisen anturivahvistimen, joka muuntaa anturin vastusarvon virtaviestiksi. Tämä erillinen anturivahvistin oli PR Electronicsin valmistama PRE-TOP 5335 A2. Sen mittausalue oli -50 °C...400 °C ja herkkyys $\leq \pm 0.1$ °C. Anturivahvistin sijoitettiin kenttäkoteloon, joka on sijoitettuna mädätysprosessin viereen kemianlaboratorion prosessihuoneessa.

6.4 Paineen mittaus

Paineanturiksi valittiin Druck PTX 1400 sen mittausalueen perusteella. Biokaasureaktoriissa tapahtuvan prosessin paine ei nouse korkeaksi, joten oli tärkeää valita anturi, joka toimii normaali-ilmanpaineen molemmin puolin ja on tarpeeksi herkkä havaitsemaan mädätysprosessin muutokset. Kuvassa 13 on PTX1400-paineanturi.



Kuva 12. Druck PTX1400 -paineanturi

Paineanturin toiminta-alue on -1...4 bar gauge (verrattuna ilmanpaineeseen). Anturin pitkäaikainen vakaus on 0,2 %, toistettavuustarkkuus on tyypillisesti 0,15 % ja maksimissaan 0,25 %. Käyttölämpötila on -20 °C...80 °C ja lämpötilan vaikutus on tyypillisesti 1,5 % ja maksimissaan 2 % lämpötilavälillä -20 °C...80 °C.

Paineanturi liitettiin biokaasureaktorin kanteen kiinnitysadapterilla. Adapteri tehtiin haponkestävästä terästangosta. Tangon lävitse porattiin reikä ja sen ulkopinnalle sorvattiin ¼ tuuman ulkokierre. Paineanturissa itsessään on ¼ tuuman sisäkierre, samoin kuin reaktorin kannessa. Anturiliitoksen tiiveys varmistettiin silikonitiivisteellä, joka laitettiin anturin ja reaktorin kannen väliin.

6.5 Kaasumäärän mittaus

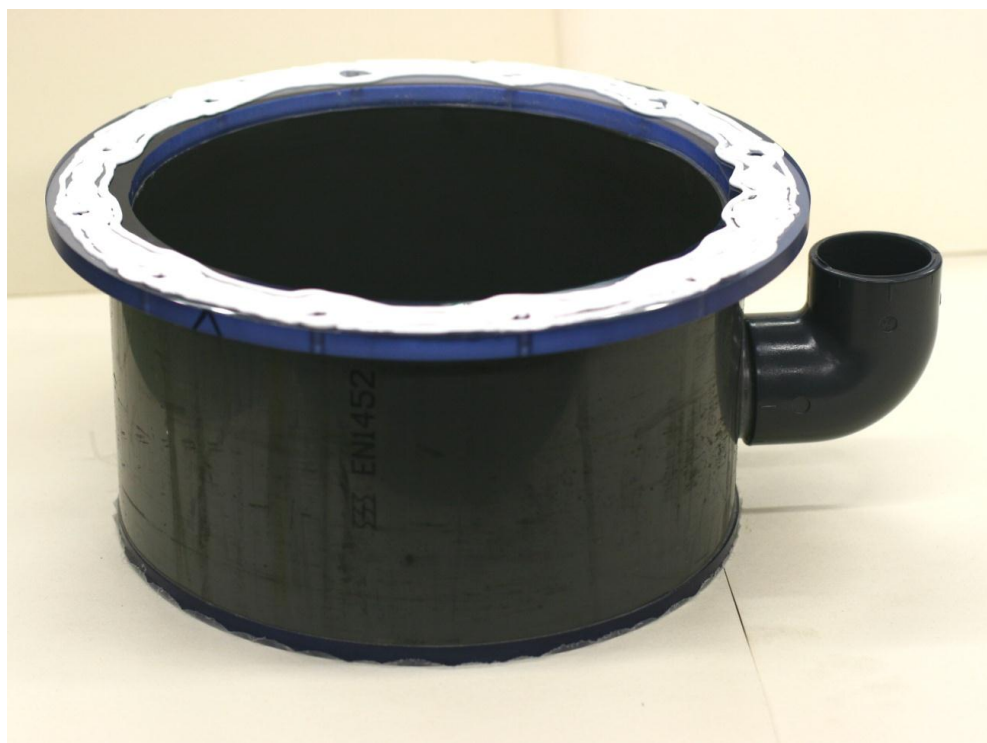
Kaasumäärän mittaamiseen ei selvityksistä huolimatta löytynyt sopivaa vaihtoehtoa. Joko niiden hinnat olivat liian korkeat tai sopivan hintaisten mittareiden toiminta-alue rajasi ne pois vertailusta. Koska kaasumäärän mittaaminen on kuitenkin tärkeä osa prosessia, sitä jatkettiin tähän asti käytössä olleella ja hyväksi havaitulla tavalla, joka toimii seuraavasti. Mätänemisprosessin aikana syntyvä biokaasu johdetaan kumiletkulla vedellä täytettyyn kaasunkeräyspulloon. Muodostunut biokaasu syrjäyttää vedellä täytetystä kaasunkeräyspullosta vettä. Syrjäytyneen veden määrä mitataan ja täten saadaan selville biokaasun tuotto.

7 Biokaasureaktori

7.1 Reaktorin runko

Tuotannossa käytettävät bioreaktorit on pääsääntöisesti valmistettu haponkestävästä tai vähintään ruostumattomasta teräksestä. Teräksiset reaktorit ovat yksinkertaisimpia valmistaa, ja ne takaavat hyvän kemikaalien keston ja niihin on yksinkertaista kiinnittää erilaiset prosessi-instrumentit läpivienteineen. (Leván 2007: 21.)

Teräksen edut kuitenkin pienentyvät, kun reaktoria tehdään laboratoriomittakaavaan. Teräksestä tehtynä reaktorin paino kasvaisi huomattavasti ja vastaavasti liikuteltavuus huonontuisi. Niinpä reaktorimateriaaliksi valikoitui PVC-muovi hyvien ominaisuuksiensa ja erityisesti saatavuuden vuoksi. Metropolia Ammattikorkeakoulun pintakäsittelylaboratoriosta löytyi tarpeeksi iso PVC-putki, josta oli yksinkertaista valmistaa sopivan kokoinen biokaasureaktori. Prosessisuunnittelussa tehtyjen määritysten mukaisesti biokaasureaktorista tehtiin noin viiden litran kokoinen.



Kuva 13. Biokaasureaktorin runko.

Kuvassa 14 on valmiin biokaasureaktorin runko. Reaktorirunkoon on liimattu näytteenottoputki ja kannen kiinnitykseen käytettävä laippa. Laippaan on porattu 12 reikää,

joihin mahtuu kuuden millimetrin pultit. Taulukossa 1 on esitettyä biokaasureaktorin mitat. Reaktorirunko on tilavuudeltaan isompi kuin 5 litraa, mutta koska sivuputki rajoittaa pinnankorkeuden noin 110 mm:iin jää teholliseksi tilavuudeksi 5,3 litraa.

Taulukko 1. Biokaasureaktorin mitat.

Ulkokorkeus (kannen kanssa)	170	mm
Sisäkorkeus	150	mm
Laipanulkohalkaisija	330	mm
Rungonulkohalkaisija	280	mm
Sisähalkaisija	260	mm
Seinämän paksuus	10	mm
Pohjan paksuus	10	mm
Koko tilavuus	7,9599	dm ³
Tehollinen tilavuus	5,3066	dm ³
Pohjanpinta-ala	53,1	cm ²

7.2 Näytteenottoputki

Alun perin näytteenottoputkeen oli tarkoitus sijoittaa usein kalibrointia tarvitseva pH-anturi, koska kalibrointi tulee suorittaa noin viikon välein. Kalibrointitarpeen vuoksi reaktorin kylkeen tehtiin liitântä, joka mahdollistaisi anturin irrottamisen niin, ettei se häiritse prosessia. Kuitenkin pH-anturi päätettiin sijoittaa muiden antureiden tavoin reaktorin kanteen, joten ylimääräinen sivuputki jäi näytteenottoputkeksi. Koska reaktori tulee tutkimus- ja kehityskäyttöön, tämä oli vain hyvä asia. Näin biokaasureaktorissa on valmius manuaalista näytteenottoa varten. Näytteenottoputken kautta otettuja näytteitä pystytään vertailemaan reaktorin antureiden mittaustuloksiin.

Näytteenottoputki suljetaan kumikorkilla ja reaktorin nesteenpinta pidetään niin korkeana, ettei prosessiin pääse ilmaa sivuputken kautta näytettä otettaessa.

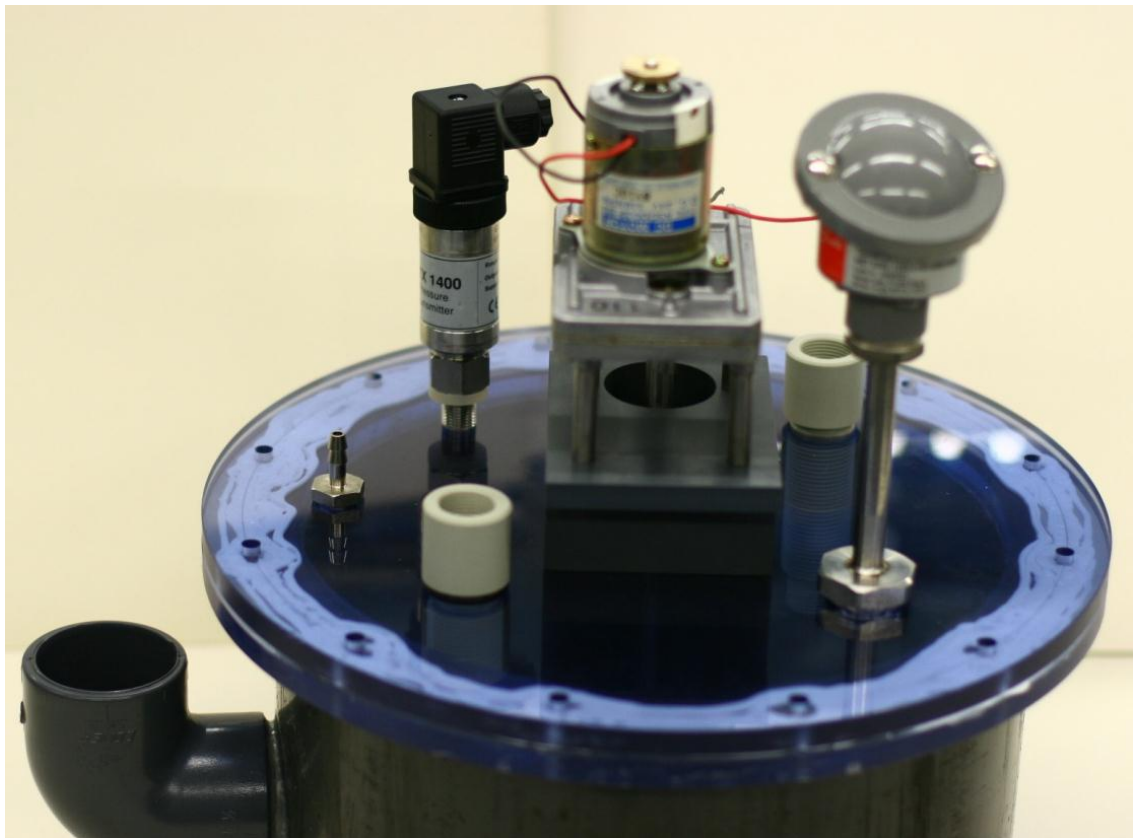
7.3 Kansi ja anturiliitännät

Reaktorin pohja, kansi ja kannen vastalaippa valmistettiin läpinäkyvästä PVC-muovista. Ne leikattiin 10 millimetriä paksusta levystä. Kansi suunniteltiin kiinnitettäväksi reaktorirunkoon pulttimutteriliitoksella, joten myös siihen porattiin 12 reikää 6 millimetrin pul-

teille. Kannen tiiveys varmistettiin rungonlaippaan tehdyllä silikonitiivisteellä, joka näkyy kuvassa 7.

Anturiliitännät sijoitettiin suunnitelman mukaisesti kanteen. Kanteen porattiin 6 reikää, joista 1 keskelle sekoitinta varten, 4 symmetrisesti anturiläpiviennille sekä 1 kaasuputkelle.

Anturien liittämiseksi kolmeen reikään tehtiin $\frac{3}{4}$ " kierre, johon saatiin liitettyä anturiadapterit eli antureiden läpiviennit. Näihin kolmeen reikään sijoitettiin pH-anturi, redox-anturi sekä lämpötila-anturi. Yhteen anturiläpivientireikään tehtiin $\frac{1}{4}$ " kierre ja siihen liitettiin paineanturi. Antureiden kiinnitys on nähtävissä kuvassa 15.

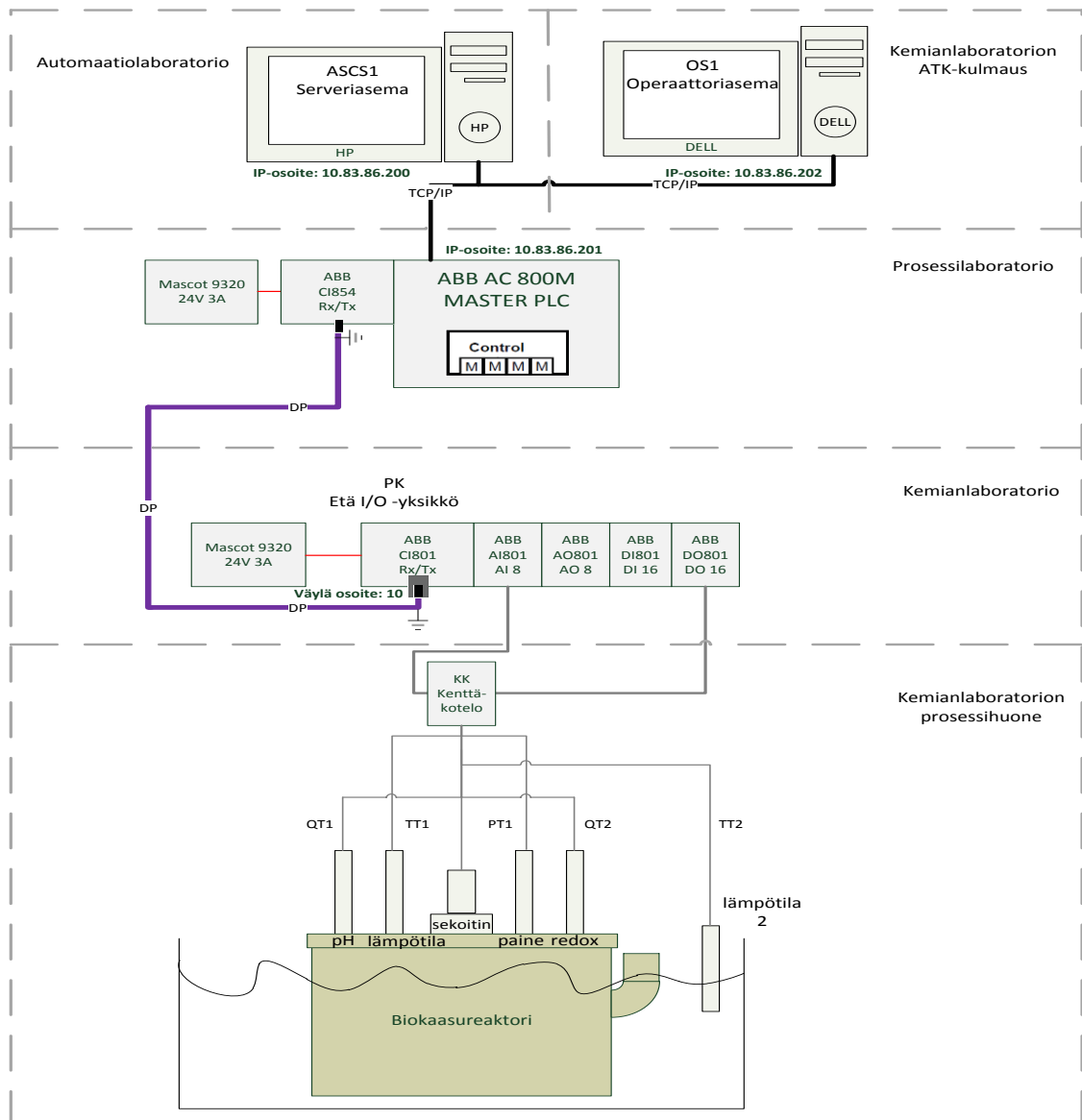


Kuva 14. Biokaasureaktorin kannen anturiliitännät.

8 Automaatiojärjestelmä

8.1 Järjestelmän kokoonpano

Tämän insinööriyön automaatiojärjestelmä muodostuu prosessiasemasta, etä-I/O-yksiköstä, kenttäkotelosta, prosessin instrumenteista sekä serveri- ja operaattoriasemasta. Kokonaisuutta on havainnollistettu järjestelmäkuvalla 16, joka on myös lisättyä liitteisiin täysikokoisena (liite 8).



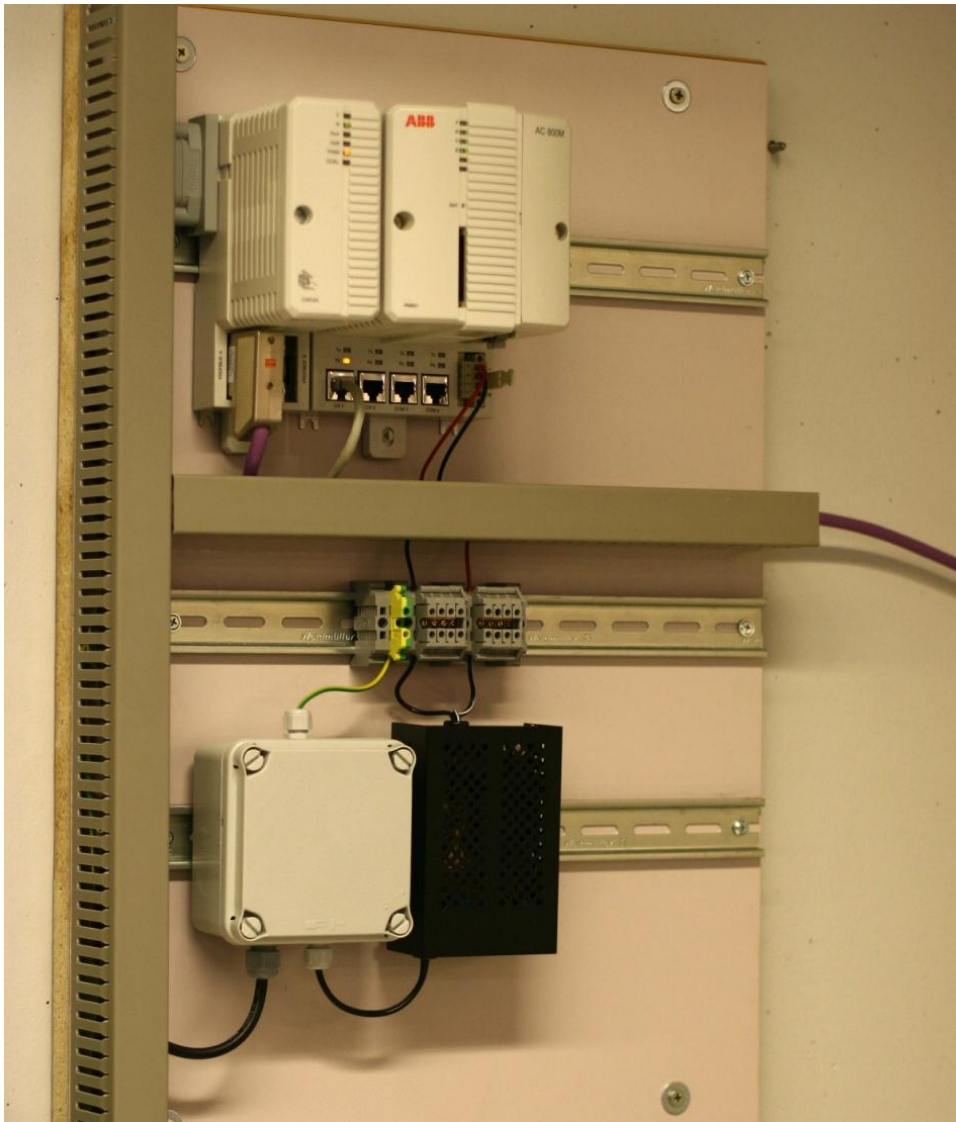
Kuva 15. Järjestelmäkokonaisuus.

8.2 Prosessiasema

Prosessiasemaksi hankittiin ABB:n AC 800M, jossa on PM851K01-prosessoriyksikkö. Tässä mallissa löytyy kaksi COM-porttiliitäntää sekä kaksi TCP/IP (Ethernet) -väyläliitäntää, joten erillistä Ethernet-moduulia ei tarvinnut hankkia. Koska järjestelmään tuli myös etä-I/O-yksikkö, johon haluttiin yhteys Profibus DP -väylän kautta, hankittiin prosessiasemaan Profibus DP -moduuli CI854AK01. Profibus-väylän kautta kommunikointi on varmaa ja viiveetöntä. Prosessiaseman ensisijainen tarkoitus oli operoida kemian laboratoriossa sijaitsevaa mädätysprosessia, joten prosessiasemaan ei hankittu I/O-moduuleja. Prosessiasemassa olevien TCP/IP-porttien avulla prosessiasema liitettiin verkkoon, jonka kautta sen toimintoja pystyttiin operoimaan serverikoneelta.

Automaatioalalla on monia yrityksiä, jotka olisivat toimittaneet koululle halutun laitteiston valmiina pakettina, mutta tämä olisi näkynyt projektin kustannuksissa. Niinpä prosessiasema ja siihen liittyvät komponentit tilattiin suoraan ABB:ltä, ja ne toimitettiin koululle erillisinä paketteina.

Laitteisto asennettiin puulevyllä siten, että kaapelikourut asennettiin ensimmäisinä. Kaapelikourujen jälkeen asennettiin din-kiskot, joihin komponentit kiinnitettiin. Komponenttien asentamisen jälkeen piti laitteistoon tehdä myös johdotukset, jotta laitteisto saatiin sähköistettyä. Kun rakennustyö saatiin valmiiksi, tarkastettiin kytkennät, minkä jälkeen laitteistoon kytkettiin jännite. Näin prosessiasema oli valmis konfiguroimista varten.



Kuva 16. ABB:n prosessiasema.

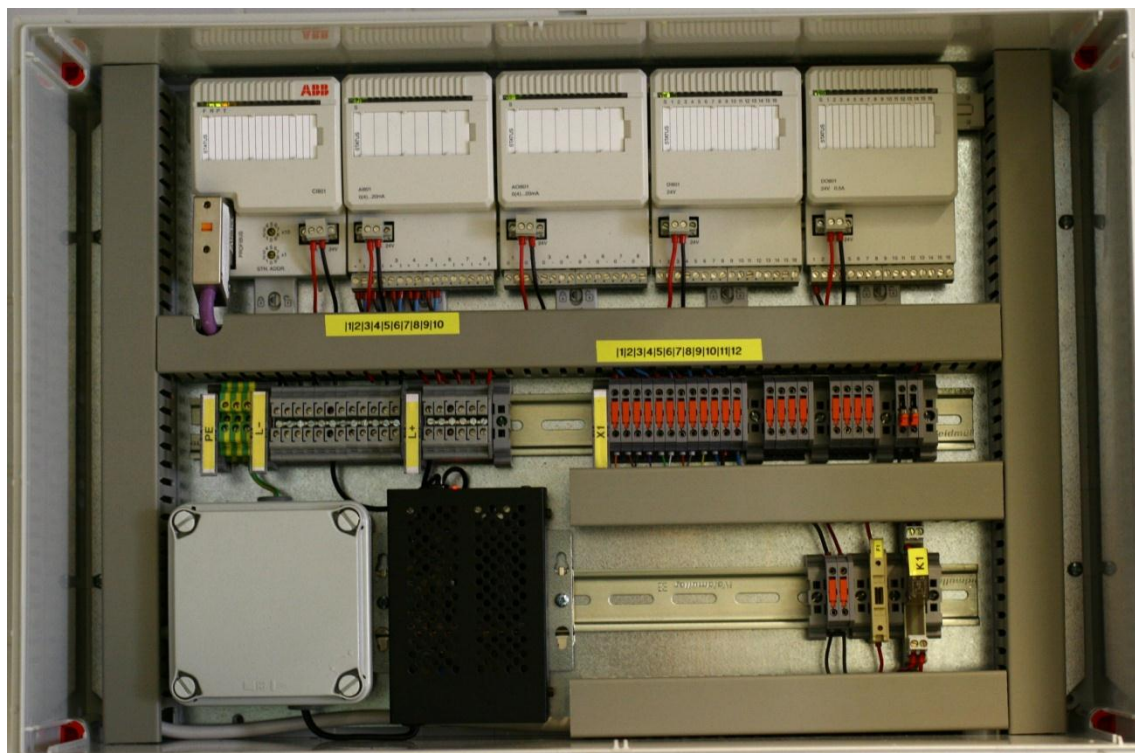
Kuvassa 17 on nähtävissä ABB:n prosessiasema, jonka vasemmalle puolelle on liitetty Profibus DP -moduuli. Prosessiasema on yhdistettynä verkkoon Ethernet-kaapelilla, josta se on yhteydessä serverikoneeseen. DP-moduuliin on kytketty väyläkaapeli, jonka toisesta päässä kemianlaboratoriossa on etä-I/O-yksikkö. Prosessiasema saa käyttöjännitteensä Mascotin 24 voltin jännitemuuntajalta, johon se on kytketty riviliittimien kautta. Mascot on kytketty 230 voltin jänniteverkkoon suojakotelossa. Suojakotelo on tarpeellinen, koska koteloon tulevasta sähköjohdosta on eroteltuna suojamaa, jota ei ollut Mascotin alkuperäisessä sähköjohdossa. Yleisesti ottaen lähes kaikkien automaatiolaitteiden kotelot tai vähintäänkin asennuslevyt ovat suojamaadoitettuja, ja tästä syystä myös tässä asennuksessa kaikki kolme din-kiskoa on yhdistetty suojamaahan. Kiskot yhteenliittävä johdin kulkee kaapelikourussa, ja keskimmäinen kisko kytkettiin suojamaahan.

8.3 Etä-I/O-yksikkö ja kenttäkotelo

Automaatiototeutukset voivat olla hyvinkin laajoja kokonaisuuksia. Näistä hyvinä esimerkkeinä ovat paperi- ja sellutehtaat. Näissä toteutuksissa automaatiolaitteita ja kenttäinstrumentteja on sijoitettu jopa satojen metrien matkalle. Ennen aikaan ja vielä nykyäänkin on käytössä järjestelmiä, joissa jokaiselta prosessiin liitetyltä anturilta kulkee omat johtimet prosessiasemalle, joka käsittelee prosessista saamansa tiedot ja tekee tarvittavat toiminnot. Koska yhdessä paperitehtaassa on tuhansia instrumentteja, joita prosessiasemilla ohjataan, on myös johtimien määrä valtava. Tähän tuovat helpotusta uuden sukupolven kenttäväylät, joiden avulla tehtaissa vedettävien kaapeleiden ja johtimien määrä laskee dramaattisesti. Siinä missä vanhalla tekniikalla yksi anturi tarvitsee vähintään 2 johdinta aina prosessiasemalle asti, yhdessä väyläkaapelissa voi liikkua satojen tai jopa tuhansien antureiden tiedot. (Pirinen 2010.)

Instrumentteja voidaan joko kytkeä suoraan väylään tai niin kuin tässä toteutuksessa, etä-I/O-yksikköön, joka muuttaa analogiset mittaustiedot digitaalseksi ja välittää kenttäväylää pitkin prosessiasemalle. Etä-I/O-yksikköjä käytetään, koska ei ole mielekästä liittää jokaista instrumenttia yksitellen väylään. Kentältä saatu mittausdata halutaan siirtää vähällä kaapeloinnilla ja hyvällä häiriösuojauksella prosessiasemalle, joka sijaitsee suojaisassa paikassa prosessiolosuhteiden ulkopuolella.

Tässä työssä kentälle eli kemianlaboratorioon vietiin etä-I/O-yksikkö, johon liitetään perinteisin menetelmin pH-, redox-, lämpötila- ja paine-anturit. Kemianlaboratoriossa sijaitseva etä-I/O-yksikkö muodostuu ABB CI801 Profibus DP -väylämoduulista, analogia-I/O-moduuleista AI801 ja AO801 sekä digitaali-I/O-moduuleista DI801 ja DO801. Lisäksi yksikköön kuuluu Mascotin 24-voltin jännitemuunnin, joka toimii moduulien jännitelähteenä. Mascot toimii myös pH- ja redox-vahvistimien jännitelähteenä sekä reaktorissa olevan sekoittimen jännitelähteenä. Sekoittimelle syötettävän virran kulkua ohjataan etä-I/O-yksikössä olevan releen avulla. Releen toimintaa ohjataan DO-moduulin lähdöllä. Kuvassa 18 on etä-I/O-yksikön sisältämät komponentit.



Kuva 17. Etä-I/O-yksikkö

Laitteiston rakentaminen tehtiin samoja periaatteita noudattaen kuin prosessiasemalle. Asennettavia ja kytkettäviä komponentteja oli tietysti huomattavasti enemmän, mutta asennukset tehtiin selkeästi ja tilaa säästävasti. Käytetty asennuslevy oli metallinen, joten koko laitteiston pohja on suojamaadoitettu. Kotelo itsessään on muovia.

Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu kenttäkotelo. Siellä biokaasureaktorissa olevilta antureilta tulevat kaapelit liitetään riviliittimien avulla mittaustiedonsiirtoon tarkoitettuun Jamak-kaapeliin. Kuvassa 19 on nähtävissä kenttäkotelo sekä pH- ja redox-vahvistin. Jamak-kaapeli on tiedonsiirtoon tarkoitettu kaapeli, jonka avulla mittausdata siirretään kemianlaboratoriossa olevaan etä-I/O-yksikköön. Lisäksi sekoittimelle tuodaan jännite kenttäkotelon riviliittimien kautta. Turvallisuuden lisäämiseksi kenttäkotelon kanteen asennettiin käyntikytkin, jolla joko sallitaan tai estetään sekoittimen käyttö. Kenttäkotelo sijaitsee kemianlaboratorion seinällä, lähellä mädätysprosessia. Etä-I/O-yksikössä Jamak-kaapelin johtimet liitettiin riviliittimien kautta analogiainputteihin, joiden antamat tiedot yksikkö välittää Profibus DP -väylää pitkin automaatiolaboratoriossa sijaitsevalle prosessiasemalle.



Kuva 18. Kenttäkotelo sekä pH- ja redox-anturivahvistimet

Kenttäkotelon sisälle sijoitettiin myös hauteen lämpötilaa mittaavan anturin vahvistin, koska hauteen lämpötilaa mittaava anturi oli sauvamallinen eikä siinä itsessään ole vahvistinta, kun taas reaktoriin asennettavassa lämpötila-anturissa on vahvistin anturikotelon sisällä.

8.4 Serveriasema

Automaatiotekniikan laboratorioon oli aikaisemmin hankittu vastaavalle prosessiasemalle serveriasema, joten tähän projektiin hankittiin samanlainen. Serveriasema saatiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ATK-tuesta eli Helpdeskistä. Taulukossa 2 on lueteltu serveriasemaksi hankitun tietokoneen tekniset tiedot.

Taulukko 2. Serveriaseman tekniset tiedot.

Proessori	AMD Phenom™ II X3 B75 Processor 3.00 GHz
Kovalevytila	500 GB
Välimuisti	8 GB
Näyttö	22" laajakuva

Tietokoneen kasaamisen ja käyttöönoton jälkeen alkoi uuden käyttöjärjestelmän asentaminen. Koska tietokoneella oli esiasennettuna Windows 7 -käyttöjärjestelmä, se täytyi korvata serverikäyttöön tarkoitetulla käyttöjärjestelmällä. ABB:n laitteisto vaatimuk- sena serverikoneelle oli Windows Server 2008, joka ladattiin msdn:sta ja asennettiin tietokoneelle. Msdn:aa on Microsoftin Metropolia Ammattikorkeakoululle tarjoama palvelu, josta opiskelijat ja opettajat voivat ladata tarvitsemiaan ohjelmia ilmaiseksi opiskelu- ja koulutuskäyttöön. Käyttöjärjestelmän asentamisen jälkeen tietokoneelle asennettiin myös Microsoft Office 2010, jonka jälkeen serveriasema oli valmis ABB:n ohjelma- asennuksille. Kuvassa 20 on serveriasemana toimiva tietokone.



Kuva 19. Serveriasema.

Automaatio-ohjelmistot asennettiin ABB:n myyntipäällikön ohjeistuksella. Serveriasemalle tehtiin ABB:n ohjelmistoasennuksiin kului yksi kokonainen työpäivä. Erityisen tärkeää oli, että käyttöympäristö, johon ohjelmistot asennettiin, tehtiin yhteensopivaksi ohjelmiston kanssa. Useiden tuntien ja tietokoneen uudelleen käynnistämisen jälkeen ohjelmistot oli asennettu ja samalla saatiin myös ohjeet operaattoriaseman asennukseen.

8.5 Operaattoriasema

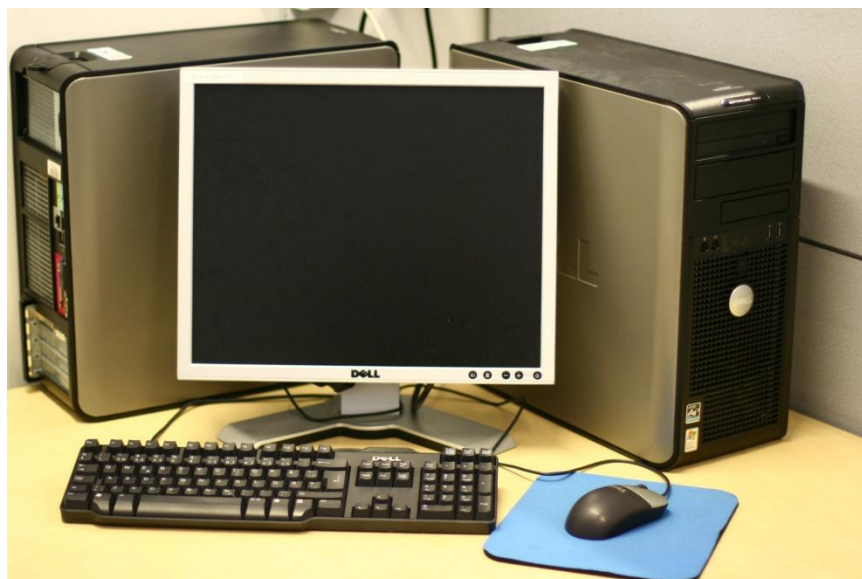
Paperitehtailta ja voimalaitoksilta tuttuja näkyjä ovat valvomot, joissa operaattorit käsittelevät ja valvovat prosessia operaattoriasemilta. Operaattoriasemat hakevat tietonsa serveriasemilta, joilla prosessia ajavat ohjelmistot toimivat. Myös tähän järjestelmään tarvittiin operaattoriasema, jolta kemianlaboratoriossa olevat opiskelijat pystyvät valvomaan mädätysprosessin edistymistä.

Operaattoriasemaksi tarkoitettu tietokone saatiin myös Helpdeskiltä. Tietokone toimitettiin valmiina pakettina, johon oli myös asennettu pyydetty käyttöjärjestelmä. ABB:n järjestelmävaatimuksena client-koneille oli Windows 7 –käyttöjärjestelmä, joka on tyy-piltään 32-bittinen. Taulukossa 3 on esitettynä operaattoriasemaksi hankitun tietoko-neen tekniset tiedot.

Taulukko 3. Operaattoriaseman teknisiä tietoja.

Proessori	AMD Athlon™ 64 X2 Dual Core Processor 5200+ 2.60 GHz
Kovalevytila	100 GB
Välimuisti	2 GB
Näyttö	19"

Operaattoriasemalle suoritettiin ABB:n ohjelma-asennukset, jotka sujuivat huomatta-vasti nopeammin kuin serveriaseman kohdalla. Opettajan läsnäolosta oli apua ohjelmi-en asennustilanteessa. Häneltä tuli apu vaikeissa tilanteissa. Kuvassa 21 on operaatto-riasema, joka sijaitsee kemianlaboratorion tietokonekulmauksessa.



Kuva 20. Operaattoriasema.

Ohjelma-asennuksien jälkeen yritettiin muodostaa yhteys serveriaseman ja operaattoriaseman välille, mutta jostain syystä yhteyden luominen ei onnistunut. Yhteyden muodostaminen päätettiin jättää jatkoprojektin suoritettavaksi.

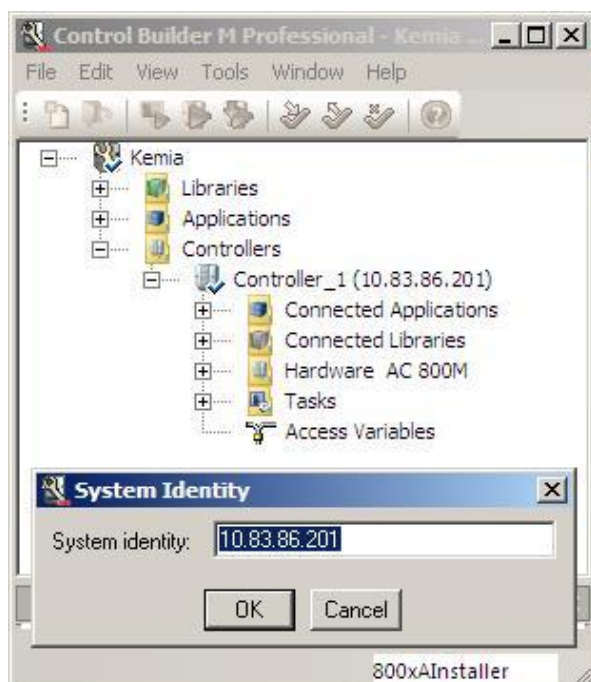
8.6 Järjestelmän konfigurointi

Jokainen automaatiojärjestelmä pitää käyttöönoton yhteydessä konfiguroida. Laitteiston konfiguroinnissa järjestelmälle määritetään ne laitteet, joita siihen on liitetty. Siinä myös määritellään laitteiden väliset yhteydet. Laitteistolle täytyy määritellä, mikä moduuli toimii kommunikointiväylänä etä-I/O-yksikölle sekä mitä I/O-moduuleita siihen on kytketty.

Prosessiaseman käyttöönotto aloitettiin liittämällä siihen sähköt. Sitä ennen Comportiin oli liitetty kaapeli, jonka toinen pää oli kytkettynä serveriasemaan. Aluksi prosessiasemalle määriteltiin haluttu IP-osoite IP Config -työkalulla, minkä jälkeen se näkyi automaatiolaboratorion verkossa. Seuraavaksi prosessiasema liitettiin automaatiolaboratorion lähiverkkoon Ethernet-kaapelin avulla ja järjestelmän konfiguroiminen suoritettiin verkon yli.

Konfiguroinnin alustus aloitettiin avaamalla serveriasemalla ABB Control Builder M Professional -ohjelmisto, jonka avulla laitteiston konfiguroiminen suoritetaan. Järjestelmän alustaksi valittiin AC800M ja projektin nimeksi annettiin KEMIA.

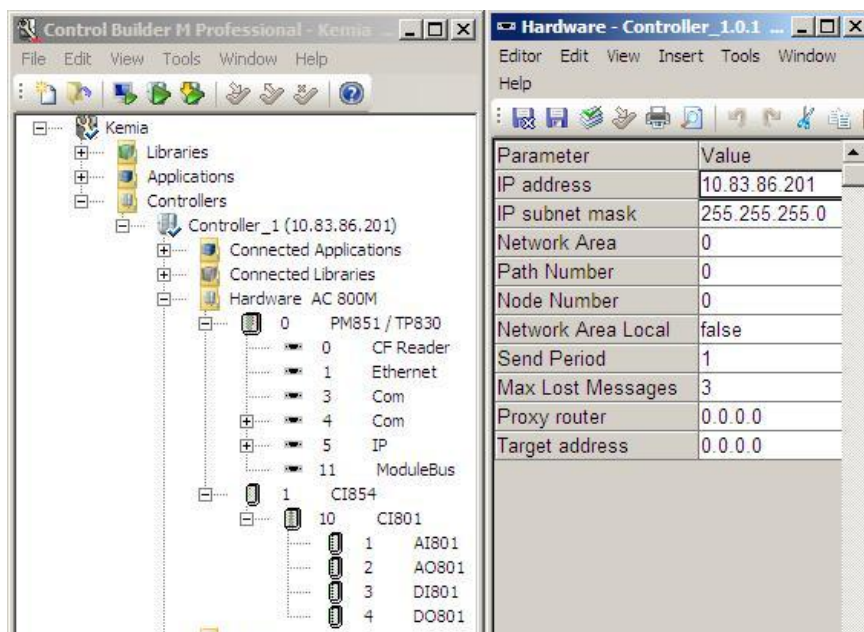
Laitteiston konfigurointi aloitettiin, kun projektipohja oli luotu. Aluksi lisättiin tulevaisuudessa tarvittavat kirjastot AlarmEventLib ja ControlStandardLib, joiden avulla sovellukset tehdään, kun järjestelmään lisätään mittauksia ja ohjauksia. Tämän jälkeen vaihdettiin controllerin eli ohjaimen IP-osoitteeksi 10.83.86.201. IP-osoitteen vaihtaminen näkyy kuvassa 22.



Kuva 21. IP-osoitteen muuttaminen.

Seuraavaksi muutettiin prosessiaseman CPU-yksikkö eli prosessoriyksikkö oikean malliseksi. CPU:n malli on PM856/TP830. Tämän jälkeen lisättiin Hardware library CI854PROFIBUSHwLib, joka myös yhdistettiin controllerin kirjastoon. Kirjaston yhdistämisen jälkeen CPU-yksikön alle lisättiin CI854-moduuli, jonka kautta prosessiasema on yhteydessä etä-I/O-yksikköön. Seuraavaksi päivitettiin PM856/TP830-moduulin alta löytyvään "1 Ethernet" -porttiin IP-osoitteeksi 10.83.86.201 ja netmask-osoitteeksi 255.255.255.0.

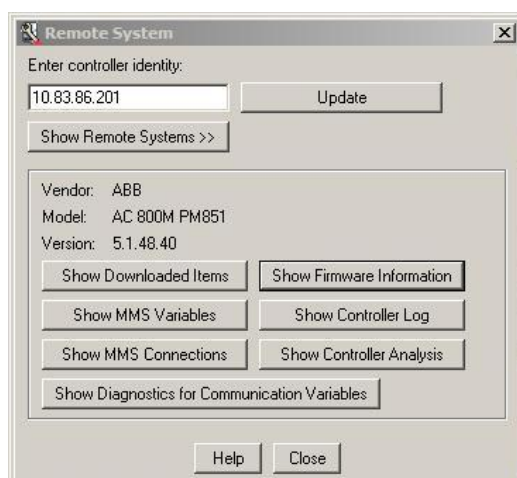
I/O-moduulien yhdistämiseksi lisättiin ja yhdistettiin vielä kirjasto S800CI830C854HwLib. Tämän jälkeen CI854-moduulin alle lisättiin CI830-moduuli. Lisätyn moduulin osoitteeksi asetettiin 10, joka voidaan tarkistaa oikeasta laitteistosta CI830-moduulin alareunassa olevista säätimistä. I/O-moduulit lisättiin kuvan 23 mukaisesti CI830-moduulin alle.



Kuva 22. Järjestelmän konfiguraatio ja Ethernet-portin IP-osoite.

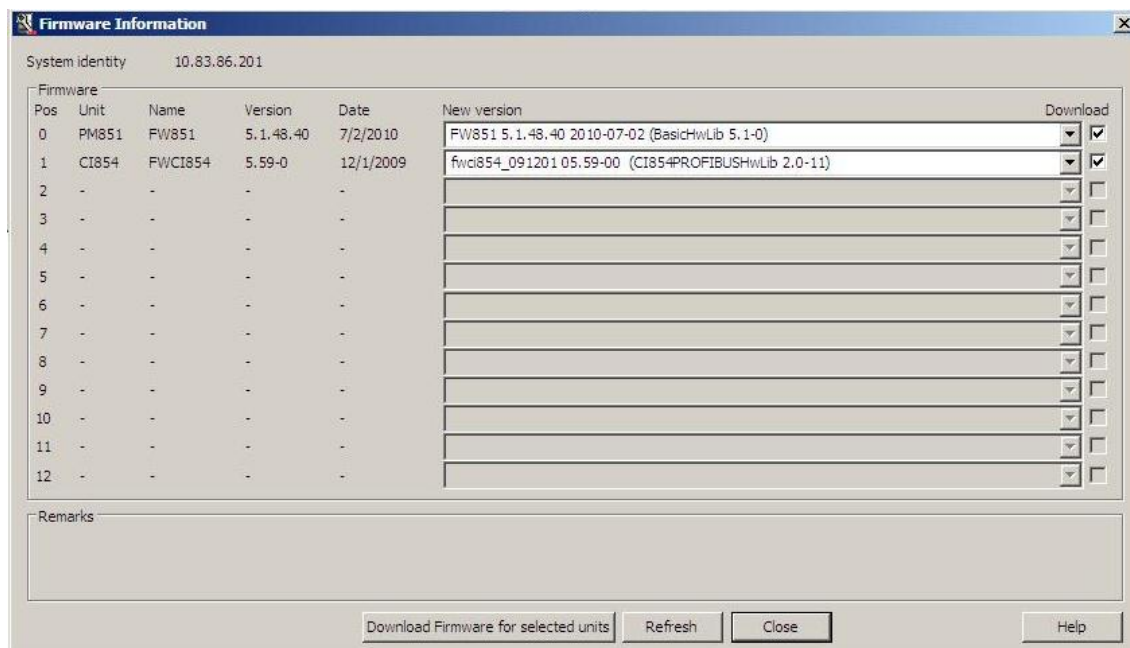
Firmwaren lataaminen CPU-yksikölle

Kun laitteisto konfiguraatio oli rakennettu, päivitettiin CPU-yksikön ja CI854-moduulin Firmware-tiedostot. Firmware-tiedoston päivittäminen mahdollistaa prosessiaseman ja konfigurointityökalun kommunikoinnin, ja se tulee suorittaa aina laitteiston käyttöönotossa. Firmwaren lataaminen suoritettiin Remote System -valikosta, joka löytyy valikosta Tools→Maintenance→Remote System. Kuvassa 24 näytetään, miten oikea prosessiasema löytyi IP-osoitteen avulla, joka sille oli päivitetty IP Config -työkalulla.



Kuva 23. Remote System.

Tämän jälkeen oikea Firmware-versio ladattiin "Show Firmware Infomation" -valikosta valitsemalla alasvetovalikosta uusi versio, lisäämällä download-kohtaan rasti ja lataamalla Firmware valittuun yksikköön. Kuva 25 havainnollistaa Firmware-tiedoston päivitystä. Tämän jälkeen konfiguraatio ladattiin prosessiasemalle valikosta Tools→Download Project and Go Online.



Kuva 24. Firmware -tiedoston lataaminen.

Laitteiston konfiguroinnin yhteydessä prosessiasemalle pystyy myös tekemään sovelluksia, joiden tarkoituksena on ohjata sille määriteltyä prosessia. Koska tässä insinöörityössä tarkoitus ei ole tehdä säätöjä, vaan valvoa bioprosessia, ei sovelluksiin tarvinnut tehdä ohjelmaa muille kuin sekoitukselle, joka toimii ajastettuna. Työn laajuuden vuoksi järjestelmän käyttöönotto rajattiin työn ulkopuolelle, ja samalla järjestelmän ohjausten ja valvomokäyttöliittymän tekeminen jäivät seuraavalle insinöörityölle tai projektille.

8.7 Järjestelmän kommunikointi

Automaatiojärjestelmät välittävät suuren määrän tietoa prosessien tapahtumista valvomoihin, joissa ihmiset operoivat ja valvovat prosessin ja automaatiojärjestelmän toimintoja. On tärkeää, että järjestelmän kommunikointi on kunnossa, jotta laitteisto voi täyttää sille määritellyt tehtävät. Laitteiden välinen kommunikointi ei ole itsestäänselvyys varsinkaan silloin, kun käytössä voi olla usean eri laitevalmistajan tuotteita, joilla

jokaiselle on omanlaisensa ohjelmointikieli. Tähän työhön hankittavat laitteistot keskitettiin yhdelle laitevalmistajalle, joten laitteiden välinen kommunikointi oli melko yksioikoista.

Kommunikoinnin testaaminen aloitettiin järjestelmän konfiguroimisen jälkeen. Tämä tehtiin siirtymällä konfigurointiohjelmalla niin kutsuttuun online-tilaan, jossa nähtiin, onko järjestelmällä yhteys sen kaikkiin laitteisiin. Aluksi ohjelma ilmoitti, ettei sillä ole yhteyttä etä-I/O-yksikköön. Tämä johtui siitä, ettei etä-I/O-yksikön väyläkorttiin oltu vielä määritelty oikeaa osoitetta. Kun väyläkortille asetettiin oikea osoite ja laitteisto käynnistettiin uudestaan, saatiin yhteys koko laitteistoon.

Kun laitteiston välille oli saatu yhteys, testattiin etä-I/O:n toiminta kytkemällä siihen lämpötila-anturi. Lämpötila-anturi täytyi myös määritellä ohjelmallisesti, minkä jälkeen serveriasemalla näkyi anturin lähettämä mittaustieto. Lisäksi testattiin biokaasureaktoriin tulevan sekoittimen ohjaus ja ohjaukseen liittyvän releen toiminta. Testaamista varten ohjelmaan lisättiin yksinkertainen moottorinohjausmoduuli, jonka avulla moottoria ohjattiin päälle ja pois päältä.

Laitteiston rakentaminen, konfiguroiminen, kommunikoinnin toteaminen ja testaaminen suoritettiin automaatiolaboratorion varastossa, jossa serveriasema sijaitsi. Tämä helpotti ongelmien havaitsemisessa, jolloin myös muutokset ja korjaukset oli yksinkertaista suorittaa. Toiminnallisten testausten jälkeen laitteisto asennettiin sille määriteltyyn paikkaan. Asennuksen jälkeen toistettiin kommunikointiin liittyvät testaukset. Laitteisto kommunikoi halutulla tavalla lukuun ottamatta operaattoriasemaa, johon ei onnistuttu luomaan yhteyttä.

8.8 Käytetyt ohjelmistot

Insinööriyön tekemisessä tarvittiin useita eri ohjelmia. Ohjelmien käyttö painottui kuitenkin vain kahden valmistajan tuotteisiin, joista logiikkaohjelmat on tehnyt ABB ja tietokoneiden käyttöjärjestelmät ja oheisohjelmat on tehnyt Microsoft. Taulukossa 4 esitellään ohjelmistojen käyttö ja lyhyt selvitys, mihin niitä käytettiin.

Taulukko 4. Luettelo käytetyistä ohjelmista.

ABB	
Ohjelma:	Mihin tarkoitukseen:
IP configuration tool	Prosessiaseman IP-osoitteen määrittäminen
Control Builder M Professional	Järjestelmän konfigurointi
Firmware	Järjestelmän kommunikointi
Firmware	Järjestelmän kommunikointi
Microsoft	
Windows Server 2008	Serveriaseman käyttöjärjestelmä
Windows 7 Professional	Operaattoriaseman käyttöjärjestelmä
Visio 2010	Piirustusten ja PI-kaavioiden teko
Word 2010	Lopputyöraportin kirjoitus
Excel 2010	Listauksen ja luetteloiden teko
Power Point 2010	seminaari esityksen teko

Tarkempi ohjelmaluettelo on liitteenä 2.

9 Kustannusarvio

Jokainen projekti, jossa tehdään laitehankintoja, tarvitsee onnistuakseen jonkinlaisen rahoituksen. Tässä esitetään arvio kustannuksista, joita tähän projektiin on kulunut. Koska tämä lopputyö tehtiin automaatiotekniikan ja kemiantekniikan yhteishankkeena, kustannusten erittely eri osastojen välillä saattaa olla hankalaa, ja siksi kustannusarvio on laadittu kokonaisuudesta. Kustannusarviossa keskitytään laitehankintoihin, eikä siinä huomioida työtunteja tai laitteita, jotka on otettu automaatiotekniikan varastosta tai Metropolia Ammattikorkeakoulun sisäisen ATK-tuen kautta. Taulukossa 5 on esitetty, miten kustannukset muodostuvat.

Taulukko 5. Hankintojen kustannusarvio

Automaatiojärjestelmän laitteet ja ohjelmistot	2 545,00 €
Mittausinstrumentit	815,00 €
Asennustarvikkeet	100,00 €
Yhteensä:	3 460,00 €
Yhteensä + alv 23 %:	4 255,80 €

Laitteistohankintojen lisäksi projektiin hankittiin serveriasema ja operaattoriasema, johon kuuluu keskusyksikkö, näyttö, näppäimistö ja hiiri. Automaatiotekniikan varastosta löytyneet anturit ja sekoitin olivat myös tietyn hintaisia laitteita, ja lisäksi reaktorin valmistamiseen kului useita työtunteja ja jonkin verran materiaaleja.

Projektin kokonaiskustannukset ovat noin 6 000 € – 7 500 €.

10 Hankkeen yhteenveto

Insinööriyttä määriteltäessä oli työn kuvauksessa tavoitteiksi asetettu kaikki mahdollinen niin, että lopputuloksena olisi toimiva ja käytössä testattu laitteisto. Hankkeen edistyessä selvisi insinööriyden laajuus, minkä vuoksi tavoitteista jouduttiin rajaamaan osa pois.

Insinööriydessä perehdyttiin aluksi bioprosessitekniikkaan ja työssä käsiteltävään pannottomiseen mädätysprosessiin. Perehtymisen jälkeen tehtiin antureille, sekoittimelle ja automaatiolaitteistolle omat määrittelyt, suunnittelut, hankintasuunnittelut ja hankinnat. Hankintojen jälkeen suoritettiin automaatiojärjestelmän rakentaminen, konfiguroiminen, kommunikointi ja testaukset.

Onnistuneiden testausten jälkeen tehtiin laitteiston asennussuunnitelma ja valmisteltiin laitteiston asennus. Valmistelussa tehtiin automaatiojärjestelmän tarvitsemat kaapelivedot kommunikointia varten. Tämän jälkeen suoritettiin laitteiston asennus, kytkennät, kommunikointi ja testaukset.

Työn tuloksena valmistui laitteistokokonaisuus, joka toimii pohjana seuraavalle insinööriyölle tai projektille. Insinööriydestä pois rajattuja tehtäviä ovat seuraavat: datankeuruuseen tarkoitettu prosessitietokanta, lopullinen käyttöliittymä ja sovellusohjelma. Pois rajattiin myös järjestelmän käyttöönottoon liittyvät tehtävät kuten antureiden kytkennät kenttäkotelolle, pH- ja redox-anturivahvistimien ohjelmoinnit ja kalibroinnit.

Rakennettu laitteisto antaa hyvät valmiudet uuden mädätysprosessin käyttöönottoon keskittyvälle projektille. Laitteisto antaa myös hyvät mahdollisuudet laajennukselle. Laitteistoon kytketystä I/O:sta on käytössä vasta yksi neljäsosa, joten pieniä laajennuksia tehtäessä ei tarvitse tehdä muita kuin instrumenttihankintoja. Yksinkertainen ja mielenkiintoinen laajennus olisi vesihauteen lämpötilan säätö.

Lähteet

Biokaasu. Verkkodokumentti. Bioste Oy.
(http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=10%3E). Luettu 19.4.2011.

Bioreaktorit. Verkkodokumentti. Bioprocess Engineering. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu. (http://www.tkk.fi/Units/BioprocessEngineering/KE-70.2500_2007/BPr%204%20Bioreaktorit.pdf). Luettu 18.4.2011.

DC-moottorit. 2011. Verkkoesite. ELFA AB.
(https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=54-221-05&toc=19865). Luettu 30.4.2011

Eerikäinen, Tero. 2011. Bioprosessien Simulointi. Verkkodokumentti. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. (https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/ke-70.3500/luennot/KE-70_3500_johdanto__mittaus.pdf). Luettu 20.4.2011.

Haavisto, Risto. 2011. Myyntipäällikkö. ABB oy. Sähköpostiviesti Jukka-Pekka Piriselle 3.2.2011.

Hollender, Martin. 2010. Collaborative Process Automation Systems. USA: International Society of Automation. s. 48-49.

Hukari, Sirpa. 2009. Sähköturvallisuus. Opetusmoniste. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Laatu automaatiassa - parhaat käytännöt. 2001. Suomen Automaatioseura ry. Saarijärvi. Saarijärvi Offset Oy.

Lehtonen, Pekka. 2010. Yliopettaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Suullinen tieto 29.9.2010. (Insinööriyön aloituspalaveri)

Leván, Rauno. 2007. Ympäristönsuojelun bioprosessien mallintaminen laboratoriomittakaavassa. Insinööriyö. Lahden Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

Luoranen, Maarit. 2011. Biokaasun valmistus kasvibiomassasta laboratoriomittakaavan biokaasureaktorilla. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kemiantelektiikan koulutusohjelma.

Olli, Jari. 2011. Mittaus- ja säätötekniikka. Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Pirinen, Jukka-Pekka. 2010. Automaation tiedonsiirtoverkot ja -väylät. Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Pirinen, Jukka-Pekka. 2011. Lehtori. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Suullinen tieto 29.4.2011. (Puhelinkeskustelu)

Rämet, Pirjo. 2010. Automaatiojärjestelmät. Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

SFS 6000-4. Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Strömman, Mika. 2010. Kappaletavaratuotannon automaatio. Verkkodokumentti. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu. (https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116_1100_luentokalvot_8.pdf. luettu 29.4.2011). Luettu 21.4.2011.

Tarvainen, Simona. 2008. Työnkulku tietokantapohjaisessa instrumentointisuunnittelussa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma.

Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Tukes opas. 2007. Turvatekniikan keskus.

Williams, John. 2002. Keys to bioreactor selections. Verkkodokumentti. CEP Magazine (2002). (http://findarticles.com/p/articles/mi_qa5350/is_200203/ai_n21313449/?tag=content;col1). Luettu 19.4.2011

Dokumenttiluettelo

Biokaasureaktorin automatisointi			
Päivämäärä	Tekijä	Revisio muutos	Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen		
Päivämäärä	Dokumentin tyyppi	Sisältö	Tiedosto-tyyppi
2.5.2011	Dokumenttiluettelo		xlsx
2.5.2011	Ohjelmaluettelo		xlsx
2.5.2011	Mittapisteluettelo		xlsx
2.5.2011	Laiteluettelo		xlsx
2.5.2011	Instrumenttiluettelo		xlsx
2.5.2011	KytKentäluettelo		xlsx
2.5.2011	KytKentäluettelo		xlsx
3.5.2011	KytKentäpiirustus	TT-1	dwg
3.5.2011	KytKentäpiirustus	TT-2	dwg
2.5.2011	KytKentäpiirustus	PT-1	dwg
2.5.2011	KytKentäpiirustus	QIT-1	dwg
2.5.2011	KytKentäpiirustus	QIT-2	dwg
2.5.2011	KytKentäpiirustus	M-1	dwg
2.5.2011	Automaatiojärjestelmän kokonaiskuva		dwg
2.5.2011	Automaatiojärjestelmän topologiakuva		dwg
3.5.2011	PI-kaavio		dwg
3.5.2011	pH- ja redox-antureiden tekniset tiedot		docx
10.10.2010	Biokaasureaktorin seloste		xlsx

Ohjelmaluettelo

Biokaasureaktorin automatisointi			
Päivämäärä	Tekijä	Revisio muutos	Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen		
Laite	Ohjelma	Versio	Tuottaja
Serveriasema	IP configuration tool	5.1.40	ABB
	Control Builder M Professional	5.1.0/0 (Build 5.1.48.40.)	ABB
AC800M CPU	Firmware	FW851 5.1.48.40 2010-07-02	ABB
CI8540 DP-Interface	Firmware	fwci854_091201 05.59-00	ABB
Serveriasema	Windows Server 2008	Standard (Service Pack 2)	Microsoft
Operaattoriasema	Windows 7 Professional	Enterprise	Microsoft
	Visio 2010	14.0.4760.1000 (32-bit)	Microsoft
	Word 2010	14.0.4760.1000 (32-bit)	Microsoft
	Excel 2010	14.0.4760.1000 (32-bit)	Microsoft
	Power Point 2010	14.0.4760.1000 (32-bit)	Microsoft

Mittapisteluettelo

Biokaasureaktorin automatisointi					
Päivämäärä	Tekijä	Revisio muutos			Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen				
Positio-tunnus	Position nimi	Yksikkö	Mittausalue	Positio-tyyppi	Lisätietoja
QIT-1	pH-mittaus		2...12	AI	Reaktori
QIT-2	redox-mittaus	mV	-1200...1200	AI	Reaktori
TT-1	Lämpötilamittaus	°C	-50...400	AI	Reaktori
TT-2	Lämpötilamittaus	°C	0...400	AI	Haude
PT-1	Painemittaus	barg	-1...4	AI	Reaktori
M-1	Sekoittimen moottorinohjaus			DO	Reaktori

Laiteluettelo

Biokaasureaktorin automatisointi			
Päivämäärä	Tekijä	Revisio muutos	Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen		
Valmistaja	Malli	Kuvaus	Määrä
ABB	AC 800M (PM851K01)	Ohjelmoitavaalogiikka	1
	CI854	Profibus rajapinta	1
	CI801	Profibus rajapinta	1
	AI801	Analoginen sisääntulo	1
	AO801	Analoginen ulostulo	1
	DI801	Digitaalinen sisääntulo	1
	DO801	Digitaalinen ulostulo	1
Druck	PTX 1400	Paineanturi	1
ASAHI SEIKO	ASDOG30-203	Sekoittimen 24 VDC-moottori	1
Mikro Instruments	Pt100A	Lämpötila-anturi	1
Prominent	PHEX-223-SE	pH anturi	1
	RHEX-PT-SE	redox anturi	1
	DMTAW090P10E0000	pH- ja redox-vahvistin	2
	pH-LF-probes Rp 1/2"	asennussarja	2
	Koaksiaali 10m SN6-avoin	Anturikaapeli	2
Mascot	9320	Jännitelähde 24 VDC	2
Danfoss	Pt1000B	Lämpötila-anturi + lähetin	1
PR electronics	PRETOP 5335 A2	Lämpötilavahvistin/lähetin	1

Instrumenttiluettelo

Biokaasureaktorin automatisointi					
Päivämäärä	Tekijä		Revisio muutos		Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen				
Valmistaja	Malli	Positio	Signaali	Mittausalue	Osoite
Prominent	PHEX-223-SE	QIT-1	4_20mA	2...12	AI 2.1
Prominent	RHEX-PT-SE	QIT-2	4_20mA	-1200...1200 mV	AI 2.2
Danfoss	PT1000	TT-1	4_20mA	-50...400 °C	AI 2.3
Mikor Instruments	Pt100A	TT-2	4_20mA	0 ...400 °C	AI 2.4
Druck	PTX 1400	PT-1	4_20mA	-1...4 barg	AI 2.5
ASAHI SEIKO	ASDOG30-203	M-1	Digitaalinen		DO 5.1

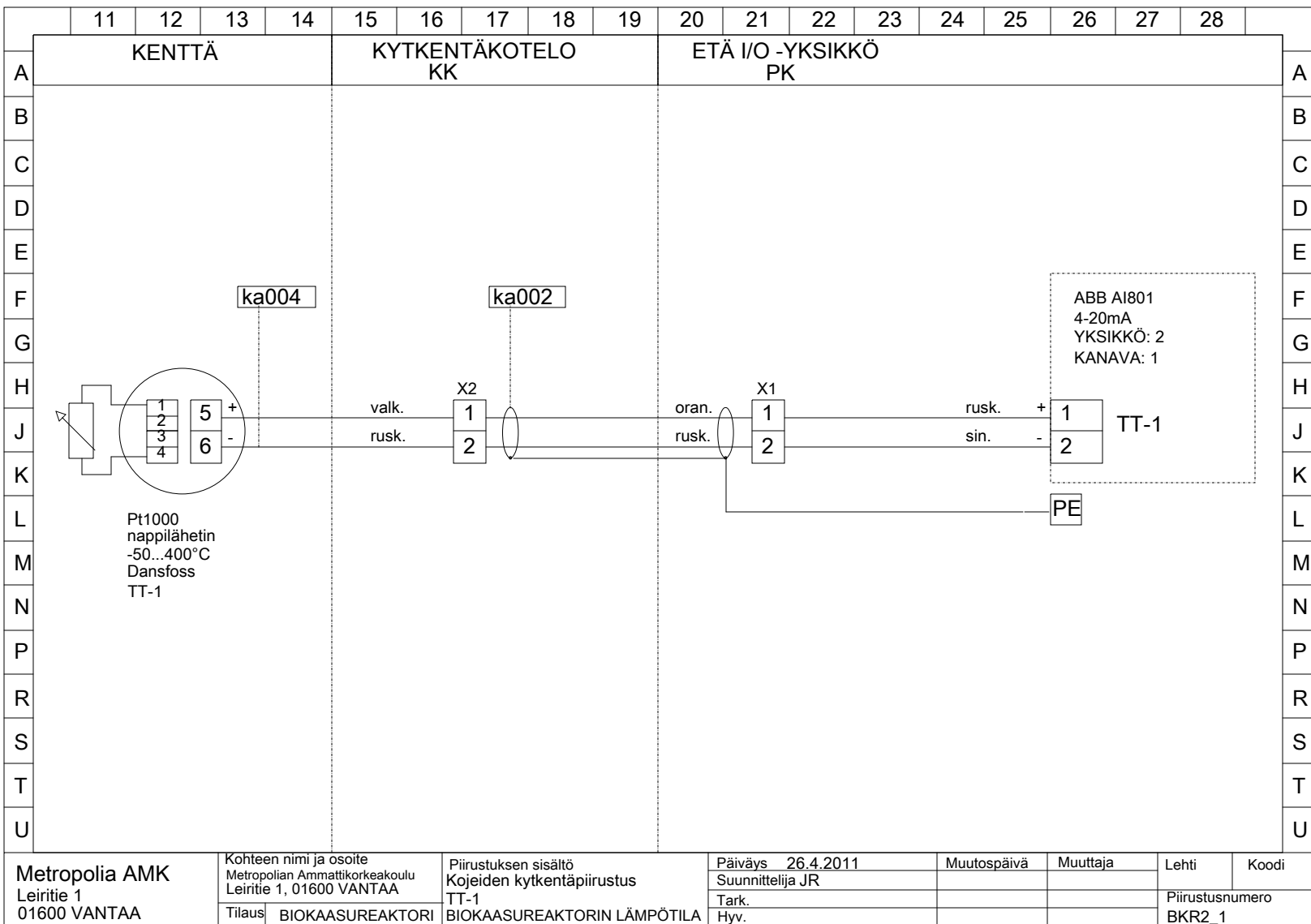
KytKentäluettelo

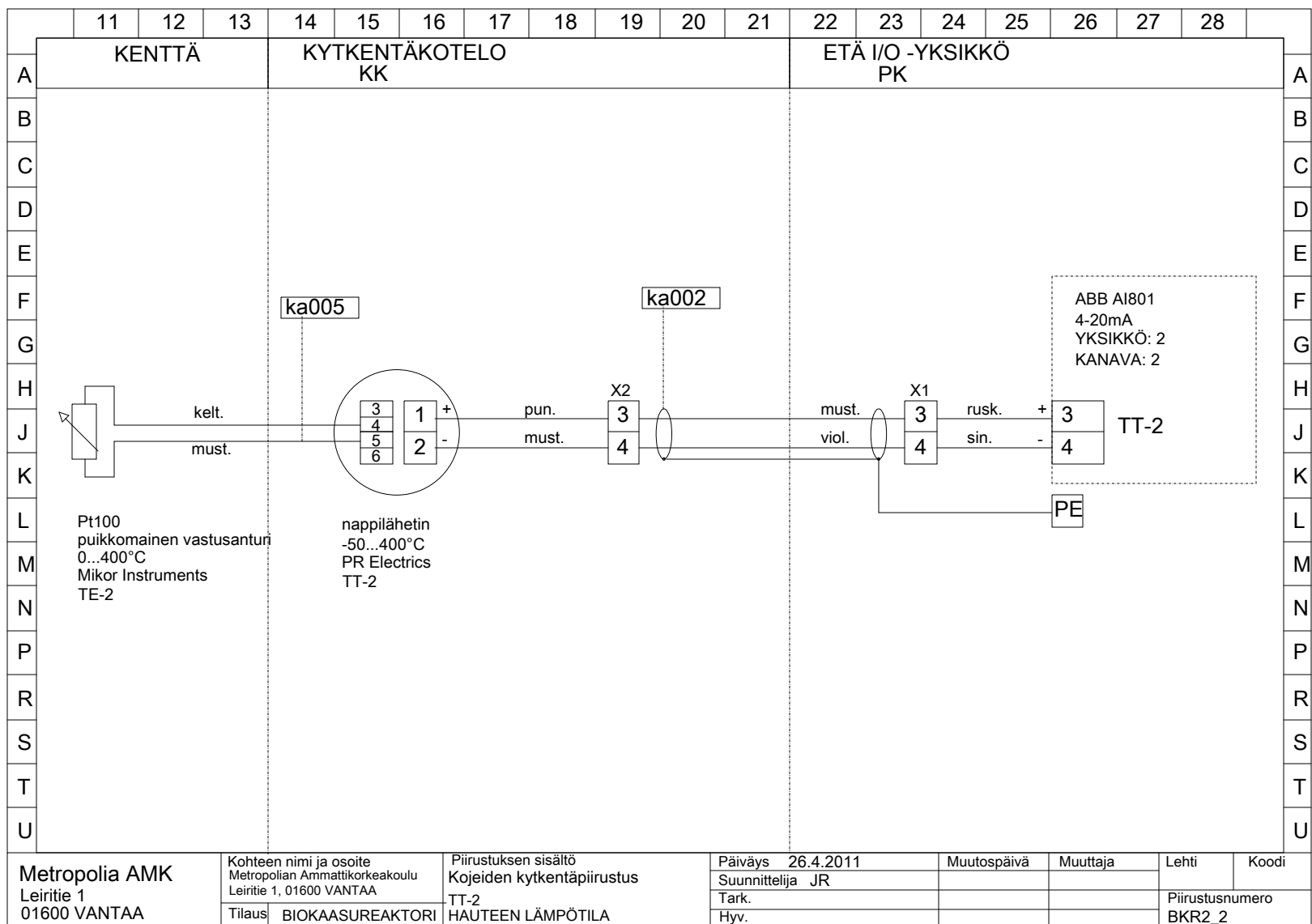
Biokaasureaktorin automatisointi							
Päivämäärä	Tekijä			Revisio muutos			Rev.
3.5.2011	Juha Rautiainen						
mistä	liitin nro	johdin nro	kaapeli nro	tyyppi ja koko	minne	liitin nro	huom
TT-1	+	+	ka004		KK:X2	1	kytkemättä
	-	-				2	
TE-2		kelt.	ka005	4x0,25	KK:TT-2	4	
		must.				5	
TT-2	1	pun.		1x0,75	KK:X2	3	
	2	must.		1x0,75		4	
PT-3	1	1	ka006		KK:X2	5	kytkemättä
	2	2				6	
QE-1	+	+	ka008	koaksiaali	QT-1	4	kytkemättä
	-	-				⊥	
QE-2	+	+	ka010	koaksiaali	QT-2	4	kytkemättä
	-	-				⊥	
QT-1	7	+	ka007		KK:X2	7	kytkemättä
	8	-				8	
QT-2	7	+	ka009		KK:X2	9	kytkemättä
	8	-				10	
M-1	+	+	ka009		KK:X2	11	kytkemättä
	-	-				12	
KK:X2	1	oran.	ka002	Jamak 12x0,25	PK:X1	1	
KK:X2	2	rusk.			PK:X1	2	
KK:X2	3	must.			PK:X1	3	
KK:X2	4	viol.			PK:X1	4	
KK:X2	5	vihr.			PK:X1	5	
KK:X2	6	valk.			PK:X1	6	
KK:X2	7	pun.			PK:X1	7	
KK:X2	8	harm.			PK:X1	8	
KK:X2	9	kelt.			PK:X1	9	
KK:X2	10	sin.			PK:X1	10	
KK:X2	11	1	ka003	7x0,75	PK:X3	1	
KK:X2	12	2			PK:X3	2	

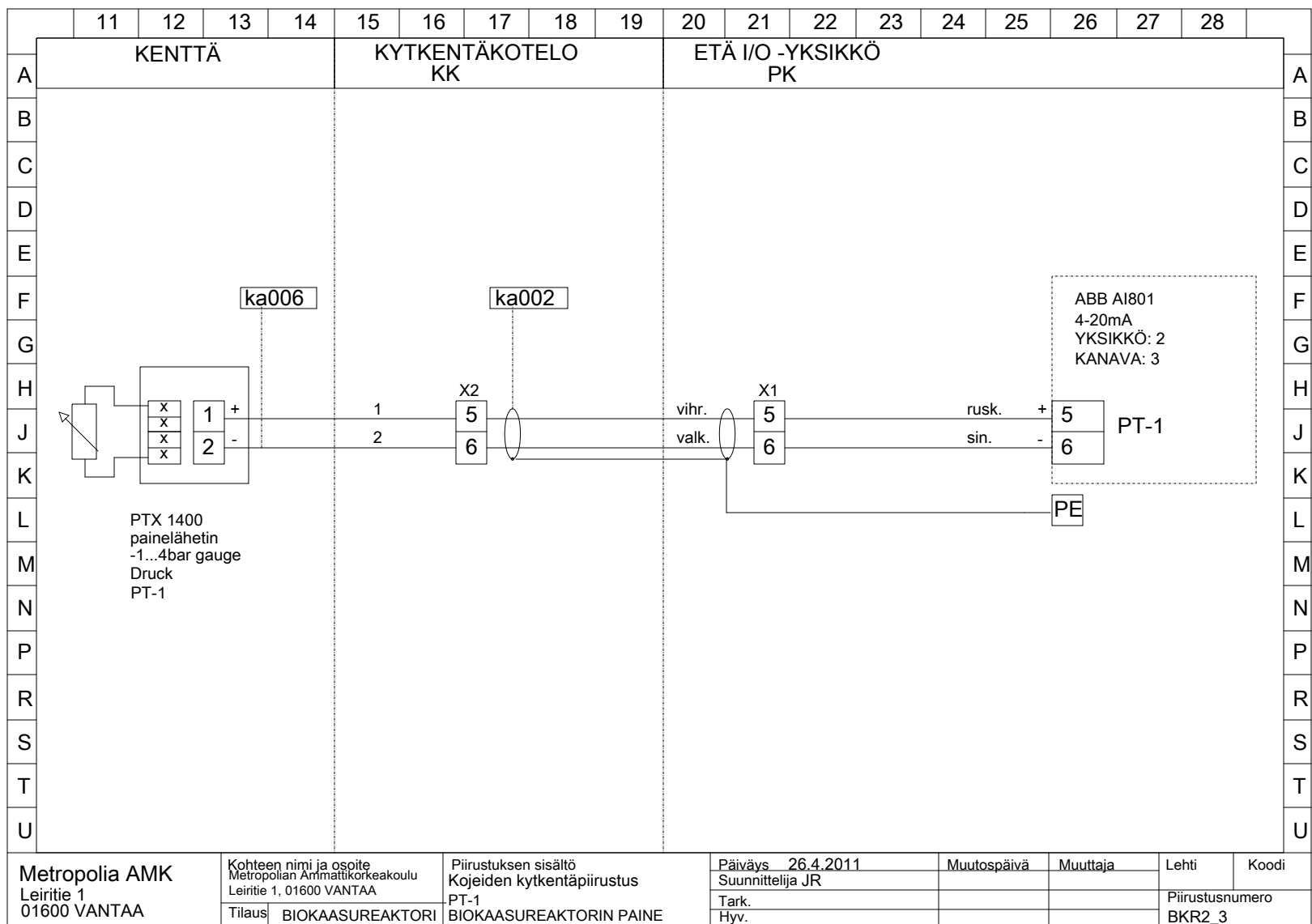
Liite 6
2(2)

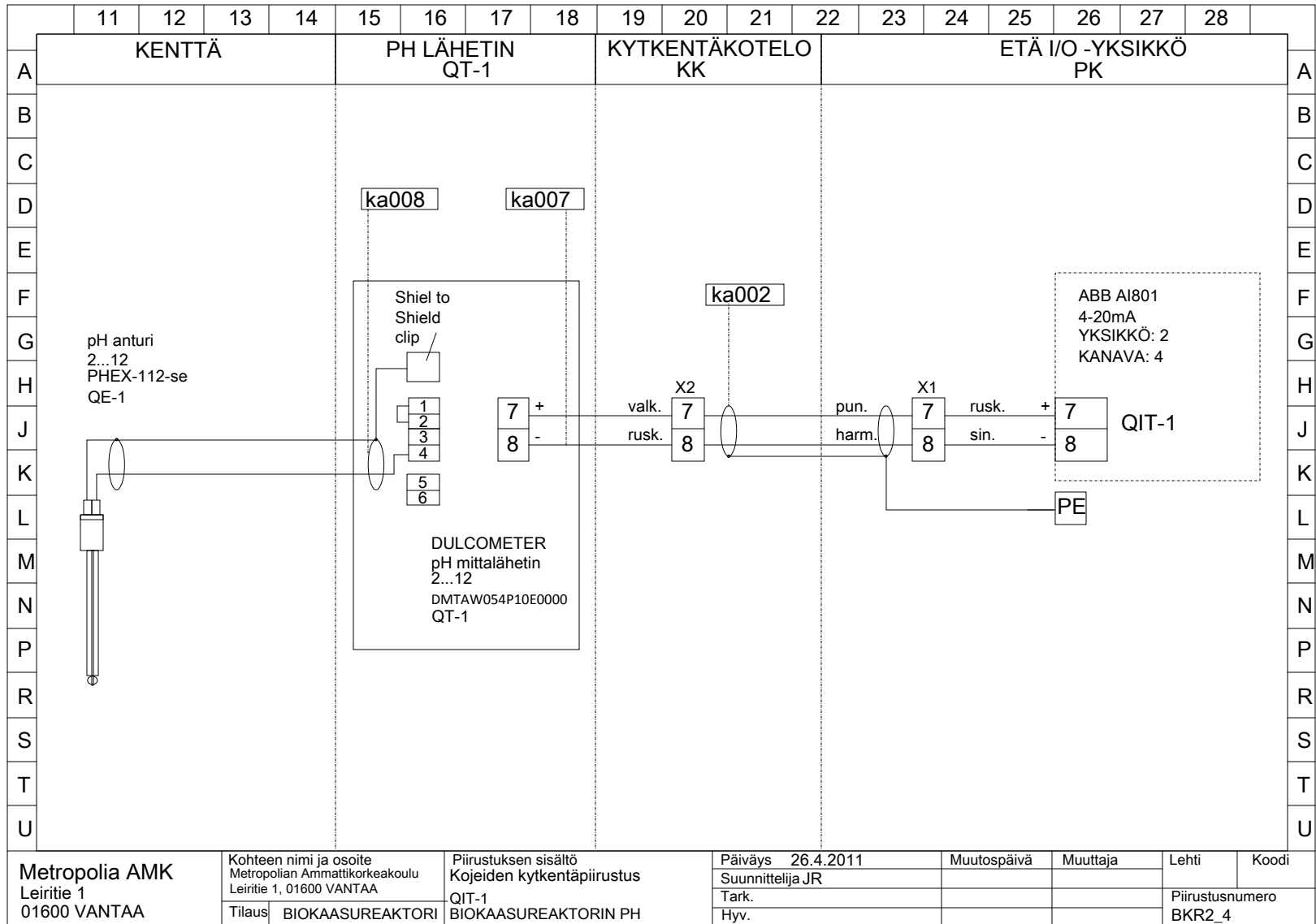
mistä	liitin nro	johdin nro	kaapeli nro	tyyppi ja koko	minne	liitin nro	huom
PK:X1	1	rusk.		1x0,75	PK:AI:1	+	
PK:X1	2	sin.		1x0,75		-	
PK:X1	3	rusk.		1x0,75	PK:AI:2	+	
PK:X1	4	sin.		1x0,75		-	
PK:X1	5	rusk.		1x0,75	PK:AI:3	+	
PK:X1	6	sin.		1x0,75		-	
PK:X1	7	rusk.		1x0,75	PK:AI:4	+	
PK:X1	8	sin.		1x0,75		-	
PK:X1	9	rusk.		1x0,75	PK:AI:5	+	
PK:X1	10	sin.		1x0,75		-	
PK:X1	11	rusk.		1x0,75	PK:DO:1	1	
PK:X1	12	must.		1x0,75	PK:L-		
PK:X1	11	rusk.		1x0,75	PK:K1	A1+	
PK:X1	12	sin.		1x0,75		A2-	
PK:X3	1	pun.		1x0,75	PK:F1		
PK:X3	2	must.		1x0,75	PK:L-		
PK:F1		pun.		1x0,75	PK:K1	1	
PK:K1	2	pun.		1x0,75	PK:L+		
PK:L+		pun.		1x0,75	PK:CI:24VDC	+	
PK:L-		must.		1x0,75		-	
PK:L+		pun.		1x0,75	PK:AI:24VDC	+	
PK:L-		must.		1x0,75		-	
PK:L+		pun.		1x0,75	PK:AO:24VDC	+	
PK:L-		must.		1x0,75		-	
PK:L+		pun.		1x0,75	PK:DI:24VDC	+	
PK:L-		must.		1x0,75		-	
PK:L+		pun.		1x0,75	PK:DO:24VDC	+	
PK:L-		must.		1x0,75		-	

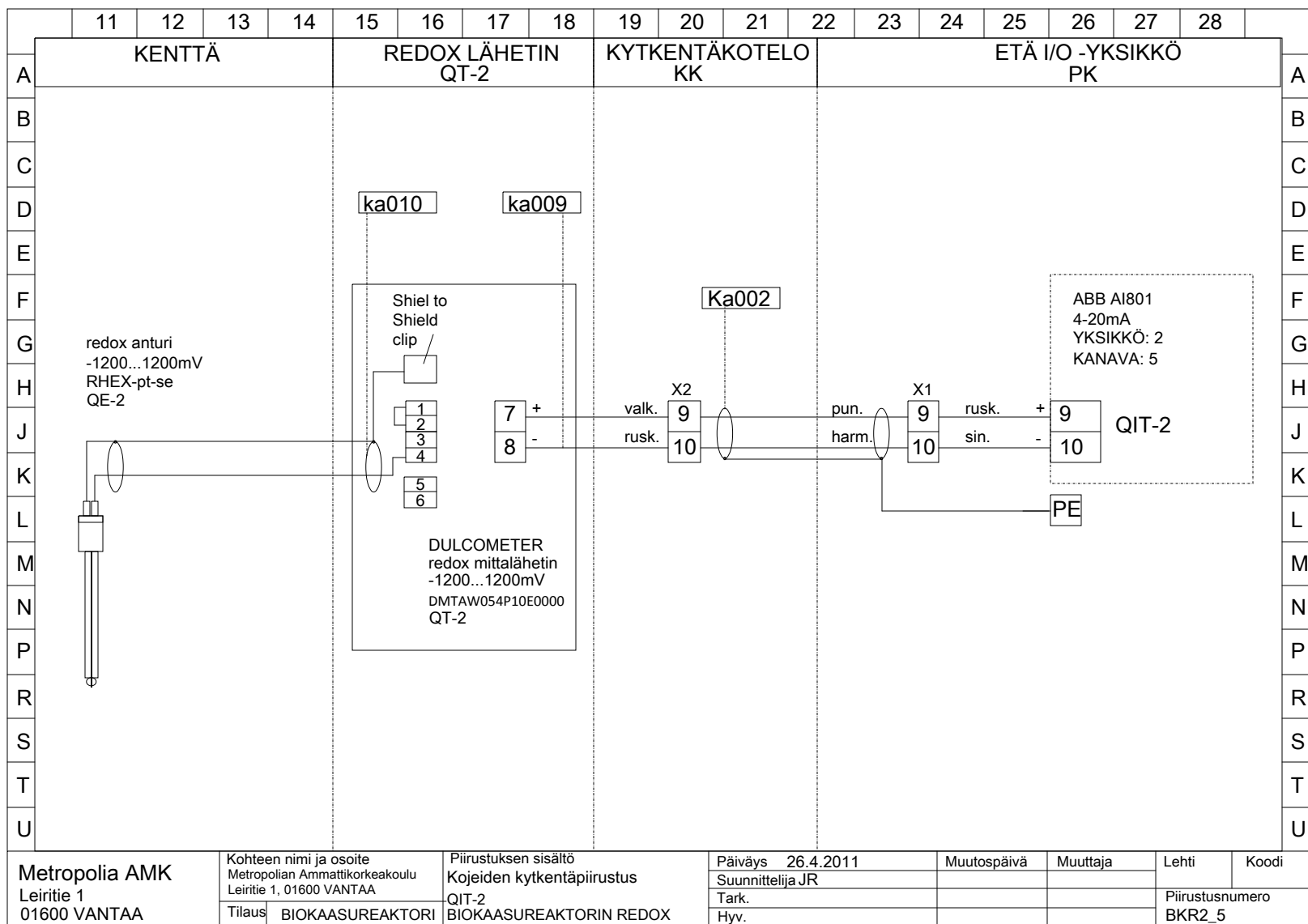
Kytkentäpiirustukset



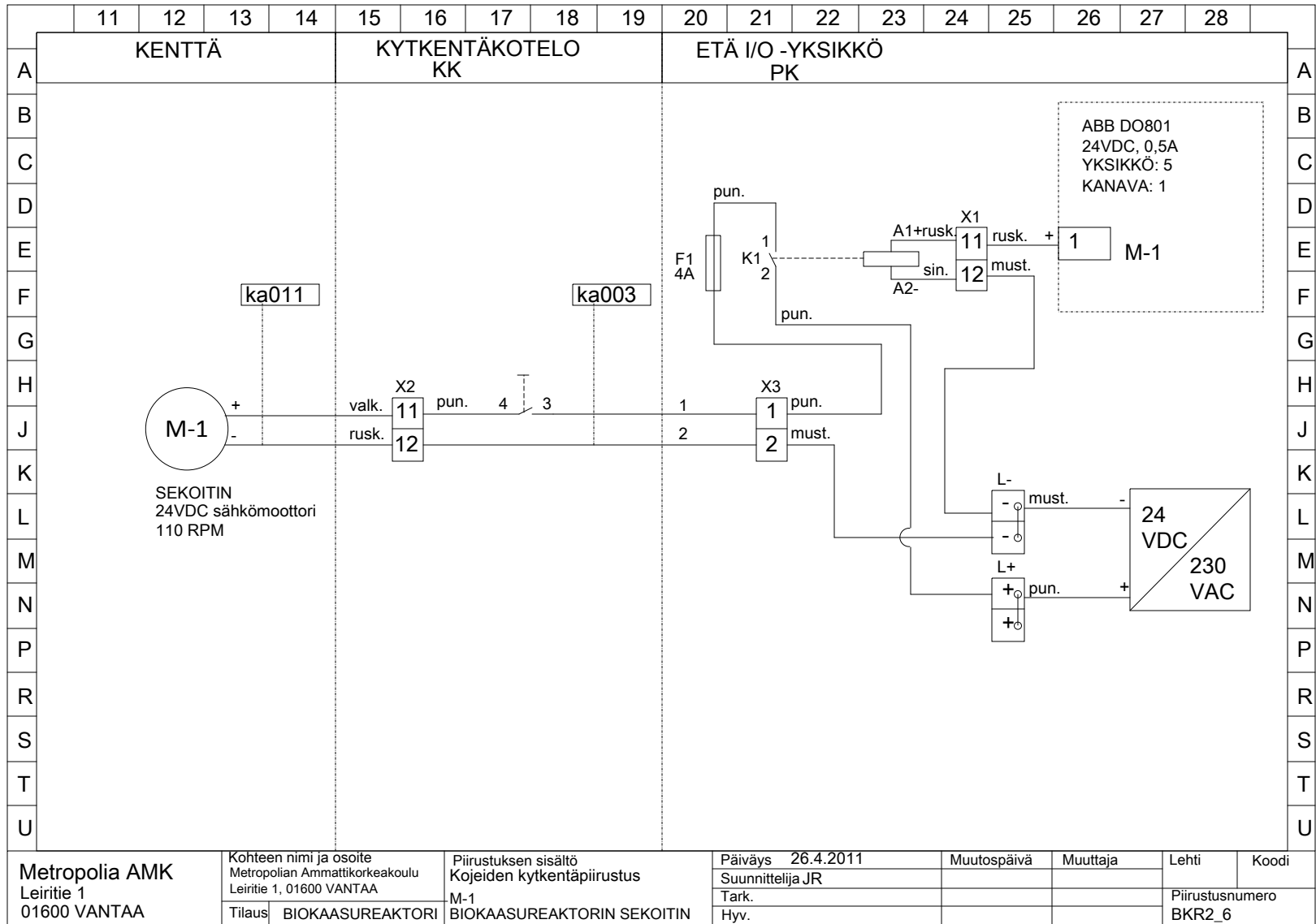




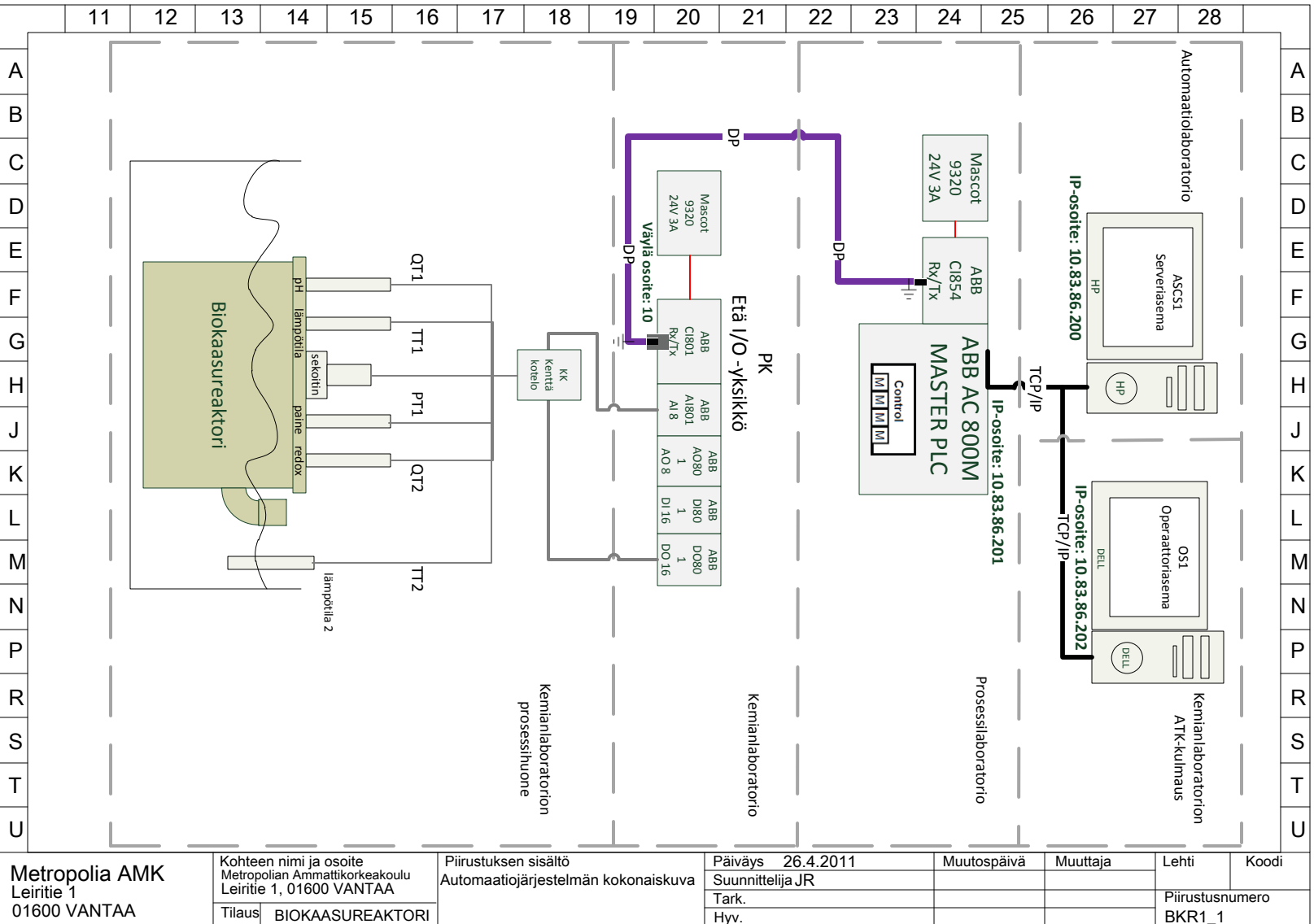




Metropolia AMK Leiritie 1 01600 VANTAA	Kohteen nimi ja osoite Metropolian Ammattikorkeakoulu Leiritie 1, 01600 VANTAA		Pii­rustuksen sisältö Kojelaiden kytkentäpiirustus QIT-2 BIOKAASUREAKTORIN REDOX	Päiväys 26.4.2011	Muutospäivä	Muuttaja	Lehti	Koodi
	Tilaus	BIOKAASUREAKTORI		Suunnittelija JR				Pii­rustusnumero BKR2_5
				Tark.				
				Hyv.				

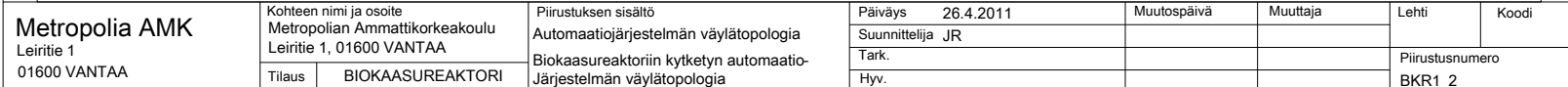


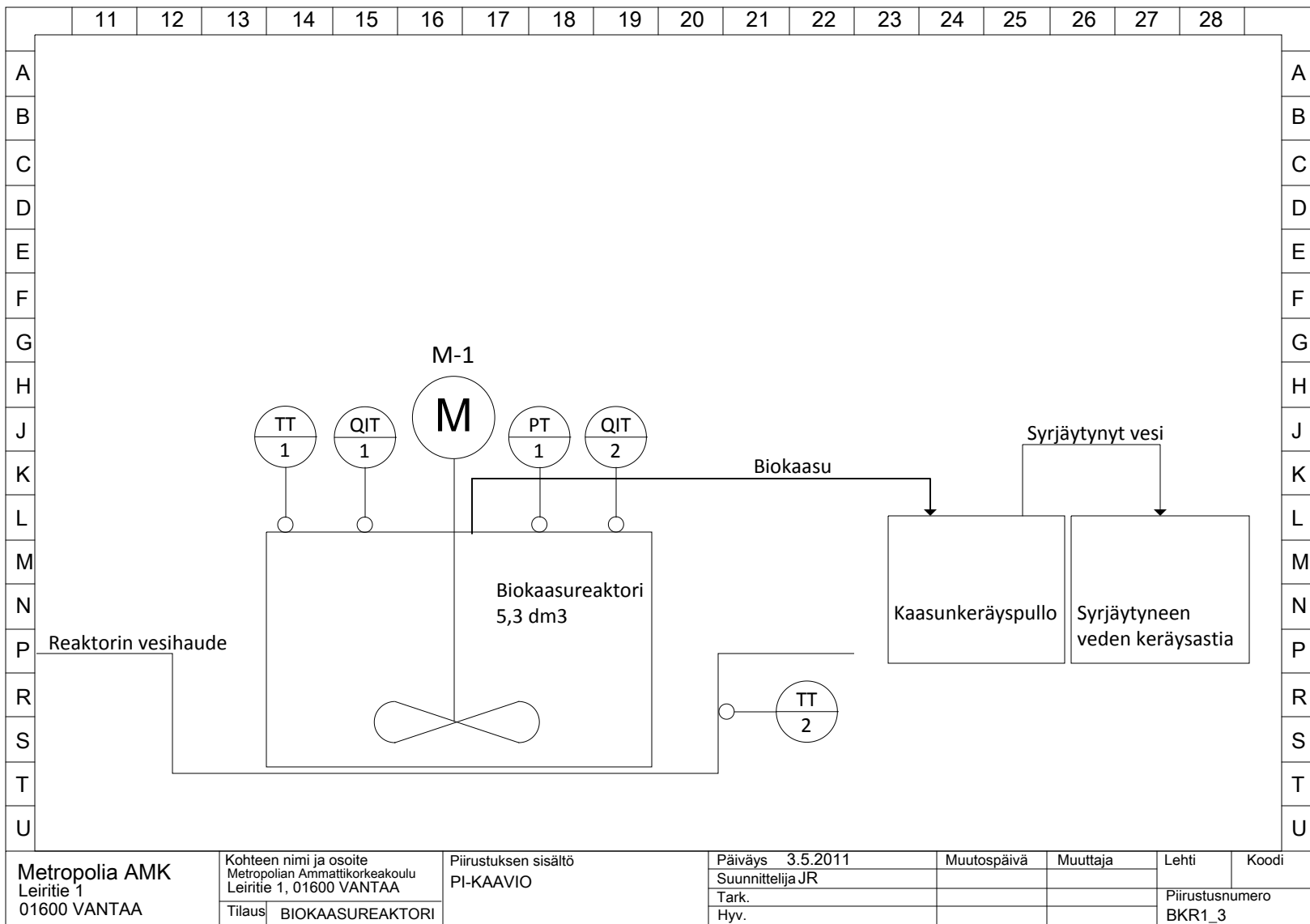
Automaatiojärjestelmän kokonaiskuva



Metropolia AMK Leiritie 1 01600 VANTAA	Kohteen nimi ja osoite Metropolian Ammattikorkeakoulu Leiritie 1, 01600 VANTAA		Piirustuksen sisältö Automaatiojärjestelmän kokonaiskuva	Päiväys 26.4.2011	Muutospäivä	Muuttaja	Lehti	Koodi
	Tilaus	BIOKAASUREAKTORI		Suunnittelija JR			Piirustusnumero BKR1_1	

Lite 9

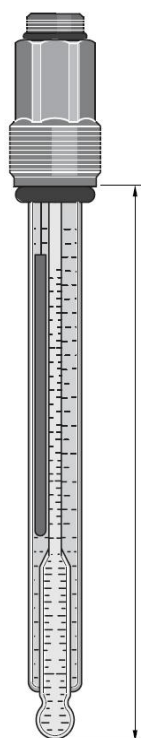




PI-kaavio

pH- ja redox-antureiden tekniset tiedot

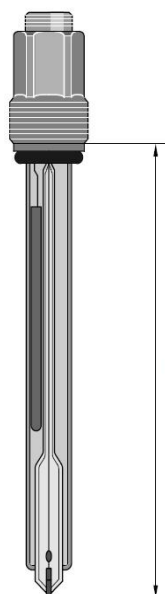
pH-anturi



Technical Data

pH-range:	1...12
Temperature:	0...100 °C
Max. pressure:	16 bar (25 °C) 6 bar (100 °C)
Conductivity:	> 500 µS/cm
Diaphragm:	open annular gap (solid polymer electrolyte)
Outlet:	Ag with AgCl supply (3 mol KCl/polymer)
Installed length:	120 ± 3 mm and 225 ± 3 mm resp.
Glas stem Ø:	12 mm
Mounting thread:	PG 13.5
Electrode head:	Push-and-twist connector SN6 fixed cable (FE variants)
Typical applications:	Waste water, industrial water, chemical processes, emulsions, suspensions, media containing protein, sulphide... (not for media containing chlorine/fluoride and conditions with frequent temperature fluctuations)
Order-No.:	PHEX 112 SE 305096 PHEX 112 SE (225 mm) 150061

Redox-anturi



Technical Data

Redox voltage/ORP:	-1000...+1000 mV
Medium temperature:	0...100 °C
Max. pressure:	16 bar (25 °C), 6 bar (100 °C)
Conductivity:	> 500 µS/cm
Metal electrode:	Platinum
Diaphragm:	Circular gap (solid polymer electrolyte)
Reference:	Ag with AgCl supply (3 mol KCl/polymer)
Length:	120 ± 3 mm
Glass stem diameter:	12 mm
Mounting thread:	PG 13.5
Electrode head:	Push-and-twist connector SN 6
Fitting position:	> 15°, tip to bottom
Storage temperature:	10...30 °C
Typical applications:	Waste water, industrial water, chemical processes, emulsions, suspensions, media containing protein, sulphide... (not for media containing chlorine/fluoride and conditions with frequent temperature fluctuations)
Order No.:	RHEX-Pt-SE 305097.8

Biokaasureaktorin seloste

Insinööriö Metropolia Ammattikorkeakoulun kemiantekniikan ja automaatiotekniikan koulutusohjelmien yhteistyönä 15.10.10

Laboratoriomittakaavan biokaasureaktorin automatisointi

Prosessisäiliö läpinäkyvää muovia
ja tilavuus on noin 5 dm³

Prosessin ohjaukset:

- Sekoitin

Prosessista mitattavat muuttujat

Massasta:

- Redox
- Sähkönjohtavuus
- pH
- Lämpötila

Kaasusta:

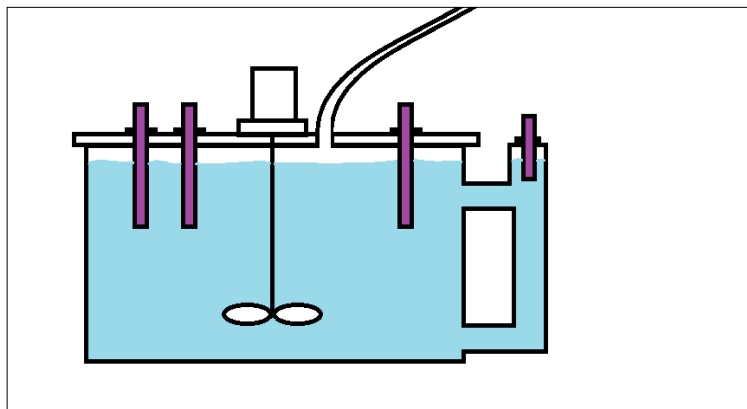
- Hapen osapaine
- Hiilidioksidi
- Virtaus
- (Metaani)

Tilan Atex-turvaluokitus: tila-2 (Arvio, tarkkaa määritystä ei ole vielä tehty.)

Kuvaus laitteistosta, johon mittaus laitteet liitetään

Automaatiotekniikan laboratoriossa on ABB AC800 M -PLC, josta vedetään joko Profibus DP:llä tai TCP/IP-väylällä yhteys kemiantekniikan laboratorioon hajautetulle I/O:lle, johon mittausanturit kytketään. Mittaukset massasta ja nesteestä asennetaan kiinteästi säiliöön tai säiliön kanteen, eikä mittauksia ole tarkoitus liikutella eri paikkoihin. Ainoastaan säiliön kansi tulee pystyä ottamaan irti, että säiliön voi tyhjentää ja puhdistaa. Kemiantekniikan laboratorioon tulee myös PC, jossa on prosessin käyttöliittymä. Prosessiin tehdään sekoittimen ohjaus ja datan keruu, jota voi seurata käyttöliittymästä. Panosprosessi kestää noin 4 viikkoa, ja siinä ajassa biokaasua tulee noin 1 – 2 litraa.

Prosessisäiliön koko on noin 5 litraa ja säiliö on muodoltaan ympyrälieriö. Säiliön kylkeen on kiinnitetty 50 mm putki, johon voi mahdollisesti kiinnittää sellaisen anturin (esim. pH), joka täytyy kalibroida usein. Sivuputken on tarkoitus estää kaasun karkaaminen, kun anturi on kalibrointiliuoksessa. Kehittyvä biokaasu kerätään pussimaiseen säiliöön, jonka tilavuus on 10 litraa. Prosessin puolesta säiliöstä lähtisi vain kaasuputki tai paremminkin letku kaasupussille, näin ainakin alustavien keskustelujen perusteella. Alla yksinkertainen kuva bioreaktorista, johon kiinnitettynä neljä anturia, joista pH on sivuputkessa.



Biokaasureaktori.